



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

LUCILÂNDIA DE SOUSA BEZERRA

**QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ATEMOIA 'GEFNER'
CULTIVADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

MOSSORÓ

2023

LUCILÂNDIA DE SOUSA BEZERRA

**QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ATEMOIA 'GEFNER'
CULTIVADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-colheita

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Lígia Dantas de Moraes

MOSSORÓ

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

B574q Bezerra, Lucilândia de Sousa.
Qualidade e conservação pós-colheita de atemoia
‘Gefner’ cultivada no Semiárido Brasileiro /
Lucilândia de Sousa Bezerra. - 2023.
79 f. : il.

Orientadora: Patrícia Lígia Dantas de Moraes.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2023.

1. Anonácea. 2. Fruto climatérico. 3.
Maturação. 4. Armazenamento. 5. Rachaduras de
frutas. I. Moraes, Patrícia Lígia Dantas de,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
Conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
RB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LUCILÂNDIA DE SOUSA BEZERRA

**QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ATEMOIA 'GEFNER'
CULTIVADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-colheita

Defendida em: 14 / 08 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Patrícia Lígia Dantas de Moraes, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Naama Jessica de Assis Melo, Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Vander Mendonça, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Ebenézer de Oliveira Silva, Prof. Dr. (EMBRAPA)
Membro Examinador

Primeiramente a Deus, a meus pais, Luciene de Sousa Bezerra e José Bezerra de Moura, meu irmão Salatiel de Sousa Bezerra, e meus avós, Helena de Sousa Bezerra e Júlio José Bezerra.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me fortaleceu para chegar ao fim desse desafio. E permitiu viver processos de muitos aprendizados. Meus pais, Luciene Bezerra e José Bezerra pelo o apoio e orações.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de ampliar meu conhecimento e enriquecer minha formação acadêmica.

Ao CNPQ pela disponibilização de recursos direcionados a esse programa de pós-graduação.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dra. Patrícia Lígia Dantas de Moraes pela orientação, ensinamentos, paciência e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao Produtor Daniel Vidal por permitir que sua propriedade fosse utilizada para a realização deste projeto de pesquisa, ao Sr. Ednardo e sua esposa por sua disponibilidade durante o desenvolvimento do projeto em campo.

Aos amigos do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita, Maria Aparecida, Alison Aragão, Letycia Lima, Vladimir Gonzales, Moises Praxedes, Carla Sonali, Marcondes Júnior, Joan Carlos, pela grande ajuda na realização do trabalho, amizade e companheirismo.

Aos amigos do Laboratório de Fitopatologia II, a Naama Melo, Dariane Viana, Allynne Cavalcante, Cynthia Alves, e à Profa. Andreia Mitsa Paiva Negreiros pela a contribuição.

A Profa. Dra. Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio, por disponibilizar das instalações do laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e aparelhos necessários à realização de algumas análises.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e contribuições.

A todos os familiares e amigos que contribuíram de forma direta ou indireta para essa conquista, em especial a Ana Santana, Fernanda Borges e Geanice Silva por todo apoio.

Muito obrigada!

“A ciência sem fé é loucura, e a
fé sem ciência é fanatismo”.

(Martinho Lutero)

RESUMO

BEZERRA, Lucilândia de Sousa. **Qualidade e conservação pós-colheita de atemoia 'Gefner' cultivada no Semiárido Brasileiro**. 2023. 79p. (Dissertação) Mestrado em Fitotecnia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

A atemoia (*Annona squamosa* x *Annona cherimola*) é uma fruta muito apreciada por suas características organolépticas. Entretanto, possui uma vida útil pós-colheita curta, já que apresenta limitações na colheita e no seu processo de amadurecimento. Assim, o objetivo desta pesquisa foi determinar o ponto de colheita adequado e os efeitos da aplicação foliar de giberelina e cálcio na redução da rachadura de frutos e melhoras na qualidade e conservação pós-colheita de atemoia cv. Gefner. O trabalho foi dividido em dois experimentos, sendo o primeiro realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5, sendo três estádios de maturação do fruto (100, 105 e 110 dias após a polinização - DAP) e cinco tempos de armazenamento refrigerado (0, 3, 6, 9 e 12 dias). As avaliações realizadas foram aparência do fruto, incidência de rachadura, massa, perda de massa fresca, coloração, firmeza, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, vitamina C, açúcares totais, açúcares redutores, amido, atividade antioxidante e polifenóis. No segundo foram realizadas aplicações de cálcio e ácido giberélico nos frutos aos 7, 27, 47, 67 e 87 DAP e coletou-se amostras homogêneas dos frutos de cada tratamento aos 121 DAP. Foi realizado um DIC em esquema fatorial 4x6, sendo quatro tratamentos: controle, Cálcio (Ca), Ácido Giberélico (GA3) e Cálcio + Ácido Giberélico (Ca+GA3); e seis tempos de armazenamento refrigerado (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias). Os frutos foram submetidos as seguintes avaliações: aparência, massa, perda de massa fresca, índice de rachadura, firmeza, coloração, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, vitamina C, clorofila, extravasamento de eletrólitos, açúcares totais, amido, atividade antioxidante, Polifenóis, atividade das enzimas Peroxidase, Polifenoloxidase e quantificação de minerais (Ca, Mg, Na e K). As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), e os efeitos dos tratamentos quantitativos foram submetidos à regressão polinomial. Os dados obtidos no primeiro experimento mostrou que ao longo do armazenamento houve uma redução na firmeza e no teor de amido, que foi convertido em açúcares além de uma elevada perda de massa fresca em todos os frutos, sendo que os frutos colhidos aos 100 DAP teve maior perda de massa, comprometendo sua aparência. Para todos os estádios de maturação estudados a vida útil dos frutos foi limitada em nove dias pelas notas de aparência, principalmente pelo aparecimento de rachaduras e escurecimento da casca. Os frutos colhidos nos estádios de maturação de 105 e 110 DAP apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento, onde obtiveram melhor aparência, maior massa, menor perda de massa fresca, maior valor de sólidos solúveis e vitamina C. No segundo experimento os frutos tratados com Ca e Ca+GA3 apresentaram redução das rachaduras. Sendo que o tratamento Ca+GA3 além de reduzir as rachaduras, os conteúdos de substâncias antioxidantes aumentaram, como compostos fenólicos, vitamina C e clorofila, que tiveram efeito no retardo da senescência, onde foi observado um menor extravasamento de eletrólitos. Os frutos armazenados sob refrigeração mantiveram aptos para o consumo até doze dias, independente do tratamento. De acordo como os nossos resultados ainda sendo positivos, é necessário conduzir mais pesquisas para aprimorar a qualidade e estender a vida útil das atemoias.

Palavras-chave: Anonácea. Fruto climatérico. Maturação. Armazenamento. Rachaduras de frutas.

ABSTRACT

BEZERRA, Lucilândia de Sousa. **Quality and post-harvest preservation of 'Gefner' atemoia grown in the Brazilian semi-arid region.** 2023. 79p. (Dissertation) Master in Phytotechny - Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

The atemoia (*Annona squamosa* x *Annona cherimola*) is a fruit much appreciated for its organoleptic characteristics. However, it has a short postharvest shelf life, since it presents limitations in the harvest and in its ripening process. Thus, the objective of this research is to determine the appropriate harvest point and the effects of foliar application of gibberellin and calcium on the reduction of fruit cracking and improvements in the quality and postharvest conservation of atemoia cv. Gefner. The work is divided into two experiments, the first being carried out in a completely randomized design (DIC) in a 3x5 factorial scheme, with three stages of fruit maturation (100, 105 and 110 days after pollination - DAP) and five refrigerated storage times (0, 3, 6, 9 and 12 days). The evaluations performed were fruit appearance, incidence of cracking, mass, loss of fresh mass, color, firmness, soluble solids, pH, titratable acidity, vitamin C, total sugars, reducing sugars, starch, antioxidant activity and polyphenols. In the second, applications of calcium and gibberellic acid were performed on the fruits at 7, 27, 47, 67 and 87 DAP, homogeneous samples of the fruits of each treatment were collected at 121 DAP. A DIC was performed in a 4x6 factorial scheme, with four treatments: control, Calcium (Ca), Gibberellic Acid (GA3) and Calcium + Gibberellic Acid (Ca+GA3); and six refrigerated storage times (0, 3, 6, 9, 12 and 15 days). The fruits were submitted to the following evaluations: appearance, mass, fresh mass loss, cracking index, firmness, color, pH, titratable acidity, soluble solids, vitamin C, chlorophyll, electrolyte leakage, total sugars, starch, antioxidant activity, polyphenols, activity of the enzymes Peroxidase, Polyphenoloxidase and quantification of minerals (Ca, Mg, Na and K). The variables evaluated were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), and the effects of quantitative treatments were submitted to polynomial regression. The data obtained in the first experiment showed that throughout storage there was a reduction in firmness and starch content, which was converted into sugars in addition to a high loss of fresh mass in all fruits, and the fruits harvested at 100 DAP had greater loss of mass, compromising their appearance. For all the ripening stages studied, the shelf life of the fruits was limited by nine days by the appearance notes, mainly by the appearance of cracks and darkening of the peel. Fruits harvested at 105 and 110 DAP maturity stages showed better quality at the end of storage, where they obtained better appearance, higher mass, lower loss of fresh mass, higher value of soluble solids and vitamin C. In the second experiment, the fruits treated with Ca and Ca+GA3 showed reduced cracking. The Ca+GA3 treatment, besides reducing cracks, increased the content of antioxidant substances such as phenolic compounds, vitamin C and chlorophyll, which had an effect on delaying senescence, where less electrolyte leakage was observed. The fruits stored under refrigeration remained fit for consumption up to twelve days, regardless of the treatment. As our results are still positive, it is necessary to conduct further research to improve the quality and extend the shelf life of atemoias.

Keywords: Anonaceous. Climacteric fruit. Ripening. Maturation. Fruit cracks.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA ATEMOIA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

- Figura 1.** Rachadura dos frutos durante o armazenamento a temperatura de $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR.....28
- Figura 2.** (A) Massa do fruto e (B) perda de massa fresca em atemoia ‘Gefner’ colhidos em diferentes estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias. Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$).....29
- Figura 3.** (A) Luminosidade do fruto L^* e (B) cromaticidade do fruto C^* em atemoia ‘Gefner’ colhidos em diferentes estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias...30
- Figura 4.** (A) Luminosidade da polpa L^* e (B) cromaticidade da polpa C^* em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.31
- Figura 5.** (A) Firmeza do fruto e (B) Firmeza da Polpa em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.32
- Figura 6.** (A) Acidez Titulável e (B) pH em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.....33
- Figura 7.** (A) Vitamina C e (B) Sólidos Solúveis (SS) em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.34
- Figura 8.** (A) Amido, (B) Açúcares Totais e (C) Açúcares Redutores em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.....35
- Figura 9.** (A) Atividade Antioxidante DPPH, (B) Polifenóis Extraíveis Totais (PET) em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias...36

CAPÍTULO II - EFEITO DO CÁLCIO E DO ÁCIDO GIBERÉLICO NA QUALIDADE E CONSERVAÇÃO DE ATEMOIA 'GEFNER' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO

- Figura 1.** Aplicações de Cálcio (Ca) e Ácido Giberélico (GA3) aos 7, 27, 47, 67 e 87 dias após a polinização (DAP).50
- Figura 2.** Aparência dos frutos e da polpa atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).56
- Figura 3.** Rachaduras em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).57
- Figura 4.** Perda de massa fresca em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).58
- Figura 5.** (A) Firmeza do fruto e (B) firmeza da polpa em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).....59
- Figura 6.** (A) Cromaticidade do fruto C*, (B) ângulo hue °Hue e (C) Luminosidade do fruto L* em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR). 60
- Figura 7.** (A) Cromaticidade da polpa C*, (B) ângulo hue da polpa (°Hue) e (C) Luminosidade da polpa L* em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).61
- Figura 8.** (A) Acidez Titulável (AT), (B) pH em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).62
- Figura 9.** (A) Vitamina C, (B) Sólidos Solúveis Totais (SS) em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).63
- Figura 10.** (A) Açúcares Totais, (B) Amido em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR). 64
- Figura 11.** (A) Clorofila total, (B) Extravasamento de eletrólitos em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR). Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$).65

- Figura 12.** (A) Atividade Antioxidante DPPH, (B) Polifenóis Extraíveis Totais (PET) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR). 66
- Figura 13.** (A) Peroxidase (POD), (B) Polifenoloxidase (PPO) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR). 67
- Figura 14.** (A) Cálcio - Ca, (B) Magnésio - Mg, (C) Sódio - Na, (D) Potássio - K em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR). Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$). 68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química do solo da área do pomar de atemoia cv. Gefner, na fazenda Dani Frutas, Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil, 2022.49
- Tabela 2.** Caracterização química do tecido vegetal de plantas de atemoia cv. Gefner, na fazenda Dani Frutas, Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil, 2022.49

APÊNDICE A

- Tabela 3.** Resumo das análises de variância do Massa (g), Perda de Massa Fresca (PMF, %), Firmeza do fruto (N), Firmeza da Polpa (N), Coloração do Fruto (L^* , $^{\circ}$ Hue e Croma), Coloração da Polpa (L^* , $^{\circ}$ Hue e Croma), Sólidos Solúveis T (SS, $^{\circ}$ Brix), Acidez Titulável (AT, meq.100⁻¹), pH, Vitamina C (mg.100 g⁻¹), Açúcares Totais (AT, %), Açúcares Redutores (AR, %), Amido (%), Atividade Antioxidante DPPH (% de sequestro) e Polifenóis (PET mg.100 g⁻¹) de atemoia em três estágio de maturação (100, 105 e 110 dias após a polinização) armazenados por 12 dias sob refrigeração ($15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $74 \pm 2\%$)77

APÊNDICE B

- Tabela 4.** Resumo das análises de variância do Massa (g), Perda de Massa Fresca (PMF, %), Firmeza do fruto (N), Firmeza da Polpa (N), Clorofila total ($\mu\text{g.g}^{-1}$), Extravasamento de eletrólitos (EE, %), Coloração do Fruto (L^* , $^{\circ}$ Hue e Croma), Coloração da Polpa (L^* , $^{\circ}$ Hue e Croma), Sólidos Solúveis (SS, $^{\circ}$ Brix), Acidez Titulável (AT, meq.100⁻¹), pH, Vitamina C (mg.100g⁻¹), Açúcares Totais (AT, %) e Amido (%) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR).78
- Tabela 5.** Resumo das análises de variância das Atividade Antioxidante DPPH (DPPH, % de sequestro), Polifenóis (PET, mg.100g⁻¹), enzimas peroxidase (POD, UE/min/g⁻¹ de amostra) e polifenoloxidase (PPO, EU/mg⁻¹ de amostra), Cálcio (Ca, g/kg de polpa), Magnésio (Mg, g/kg de polpa), sódio (Na, g/kg de polpa) e potássio (K, g/kg de polpa) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR).79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO I	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 Aparência dos frutos	24
2.2 Índice de rachadura	25
2.3 Massa e Perda de Massa Fresca	25
2.4 Cor da casca e polpa	25
2.5 Firmeza do fruto.....	25
2.6 Vitamina C	25
2.7 pH.....	26
2.8 Acidez Titulável.....	26
2.9 Sólidos Solúveis.....	26
2.10 Açúcares Totais (AT).....	26
2.11 Açúcares Redutores (AR)	26
2.12 Amido	27
2.13 Atividade Antioxidante Total DPPH	27
2.14 Polifenóis Extraíveis Totais (PET)	27
2.15 Análise estatística	27
3 RESULTADOS	28
3.1 Aparência do fruto e índice da rachaduras.....	28
3.2 Massa e perda de massa fresca	28
3.3 Coloração do fruto e polpa.....	29
3.4 Firmeza do fruto e polpa.....	31
3.5 Acidez titulável e pH	32
3.6 Vitamina C e Solido solúveis.....	33
3.7 Açúcares totais, Açúcares redutores e Amido	34
3.8 Atividade antioxidante DPPH e Polifenóis Extraíveis totais (PET)	35
4 DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÃO.....	40
6 REFERÊNCIAS	41

CAPÍTULO II	46
1 INTRODUÇÃO	48
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Aparência dos frutos	50
2.2 Massa e Perda de Massa Fresca (PMF)	51
2.3 Índice de Rachadura.....	51
2.4 Cor da casca e polpa	51
2.5 Firmeza	51
2.6 pH.....	52
2.7 Acidez Titulável (AT).....	52
2.8 Sólidos Solúveis (SS).....	52
2.9 Vitamina C	52
2.10 Clorofila	52
2.11 Extravasamento de eletrólitos	53
2.12 Açúcares Totais.....	53
2.13 Amido	53
2.14 Atividade Antioxidante DPPH.....	53
2.15 Polifenóis Extraíveis Totais (PET)	54
2.16 Atividade da Enzima Peroxidase (POD)	54
2.17 Atividade da Enzima Polifenoloxidase (PPO).....	54
2.18 Minerais: Cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K).....	54
2.19 Análise estatística	55
3 RESULTADOS	55
3.1 Aparência dos frutos e Índice de rachadura	55
3.2 Massa (g) e perda de massa fresca (%)	57
3.3 Firmeza do fruto e da polpa (N).....	58
3.4 Cor da casca e da polpa.....	59
3.5 Acidez titulável e pH	62
3.6 Vitamina C e Sólidos Solúveis	62
3.7 Amido (%) e Açúcares Totais (%).....	63
3.8 Clorofila total e extravasamento de eletrólitos	64
3.9 Atividade antioxidante DPPH, polifenóis extraíveis	65
3.10 Atividade enzimática da Peroxidase (POD) e Polifenoloxidase (PPO).....	66
4 DISCUSSÃO	68

5 CONCLUSÃO.....	72
6 REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A.....	77
APÊNDICE B	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

A anonácea é uma família que apresenta mais de 100 gêneros e cerca de 2.300 espécies, oriunda da América Central e das Índias Ocidentais, algumas das quais representam uma importância socioeconômica mundialmente. No Brasil, são registrados 29 gêneros, dentro dos quais em torno de 260 espécies, estão distribuídas por todo o país. As espécies que se destacam com maior importância comercial em várias partes do mundo são: graviola (*Annona muricata* L.), pinha, ata ou fruta-do-conde (*A. squamosa* L.), cherimoia (*A. cherimola* Mill.) e a atemoia (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Sobrinho, 2014; Anaya-Esparza *et al.*, 2020).

Algumas espécies tem sido cultivadas comercialmente em regiões tropicais e subtropicais. Seus consumidores estão considerando essas frutas valiosas devido ao seu sabor e alto valor nutricional, uma vez que são ricas em carboidratos, aminoácidos, vitaminas A, B e C, fibras e minerais Fe, Ca, Mg e K (Hiwale, 2015). A atemoia (*Annona cherimola* Mill x *Annona squamosa* L.) é um híbrido de cherimoia (*Annona cherimola* Mill) e fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) da família Annonaceae. O cruzamento que originou a atemoia sucedeu nos EUA no Estado da Flórida no ano de 1908. No Brasil os primeiros trabalhos com a atemoia foram desenvolvidas no Estado de São Paulo no Instituto Agrônomo de Campinas (Vieira, 2018).

Seu cruzamento teve como finalidade obter frutos com as principais características apresentada pelas espécies que lhe originaram, com uma melhor adaptabilidade ao clima tropical (RABÊLO *et al.*, 2014). No Brasil as principais cultivares plantadas é ‘Gefner’ e ‘Thompson’, sendo que uma cultivar é mais adaptado às condições semiáridas, enquanto outra é mais indicada para regiões subtropicais, respectivamente (PEREIRA *et al.*, 2011).

O fruto da atemoia apresenta polpa branca deliciosa e aromática, além de excelente fonte de minerais, carboidratos, fibras, e isso têm chamado à atenção de produtores e consumidores. Além de compostos fenólicos, flavonoides, o que a torna uma potencial fonte de compostos bioativos, é categorizado como um fruto climatérico, com elevada taxa respiratória e muito perecível (De Moraes *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2023).

Os frutos das espécie de anonácea são colhidos no estágio fisiológico de maturação com a finalidade de obter uma maior vida útil pós-colheita e ter tempo para transporte e comercialização. Durante o amadurecimento ocorrem diversas alterações físico-químicas e estruturais tais como amolecimento, conversão do amido em açúcar, síntese de compostos aromáticos e mudança de coloração, os quais torna os frutos mais atrativos e palatáveis (Liang

et al., 2020; Mitalo *et al.*, 2020). Caso esses frutos sejam colhidos antes do estágio fisiológico de maturação, essas transformações durante o amadurecimento serão comprometidas, assim como, a qualidade da fruta. Entretanto, se for colhidos em estádios avançado da maturação, sua vida útil será bem reduzida e não terá tempo para comercialização (MOURA *et al.*, 2020).

A definição desse estágio de colheita é crucial para garantir a obtenção de frutas de qualidade e com boa durabilidade pós-colheita. Contudo, durante o processo de amadurecimento da atemoia, surge um problema significativo: aparecimento de rachadura próximas ao pedúnculo. Essas rachaduras aparecem na forma de pequenas lesões na casca, são um problema limitante na produção, ocasionando perdas e reduzindo o valor comercial da atemoia durante o período pós-colheita (Pareek *et al.*, 2011).

Estudos recentes revelaram uma relação significativa entre o uso de reguladores de crescimento e a rachaduras dos frutos, bem como a capacidade de promover a flexibilidade da parede celular e expandir a casca dos frutos. Essas pesquisas realizadas mostram resultados que indicam que o GA3 pode aumentar a flexibilidade da parede celular e subsequente ampliação da casca do fruto, de maneira que pode ser utilizado para diminuir a rachaduras que ocorre em diferentes frutíferas (Khalil; Aly, 2013; Ozturk *et al.*, 2018).

As plantas também devem estar com seu estado nutricional equilibrado para que seu crescimento, produtividade e a qualidade dos frutos não sejam afetados. O cálcio executa muitas funções importantes na estrutura e estabilidade da parede celular, integridade da membrana, é um regulador, que desempenha o papel de sinalizador celular e está envolvido na divisão celular, ou seja, é tido como um macronutriente essencial extremamente eficiente contra distúrbios fisiológicos, principalmente está relacionado à maturidade em muitas espécies de frutas (Korkmaz *et al.*, 2016; Bang *et al.*, 2020).

Além do ponto de colheita adequado, a atemoia ainda apresenta limitações como aparecimento de rachaduras durante seu processo de amadurecimento que afeta negativamente a qualidade da fruta. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi determinar o ponto de colheita adequado e os efeitos da aplicação foliar de giberelina e cálcio na redução da rachadura de frutos e avaliar melhorias na qualidade e conservação pós-colheita de atemoia cv. Gefner.

2 REFERÊNCIAS

- ANAYA-ESPARZA, L. M.; GARCIA-MAGANA, M. L.; DOMÍNGUEZ-ÁVILA, J. A.; YAHIA, E. M.; SALAZAR-LÓPEZ, N. J.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E. Annonas: Underutilized species as a potential source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 138, p. 109775, 2020.
- BANG, T. C.; HUSTED, S.; LAURSEN, K. H.; PERSSON, D. P. SCHJOERRING, J. K. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist Foundation**, v.229, p.2246-2469, 2020.
- DE MORAES, M. R.; SILVEIRA, T. F. F.; COUTINHO, J. P.; SOUZA, D. S.; DUARTE, M. C. T.; DUARTE, R. T.; TEIXEIRA FILHO, j.; GODOY, H. T. Bioactivity of atemoya fruits and by-products. **Food Bioscience**, v. 41, p. 101036, 2021.
- HIWALE, S. Custard apple (*Annona squamosa* L.). **Sustainable Horticulture in Semiarid Dry Lands**, 2015, p. 135-152.
- KHALIL, H. A.; ALY, H. SH. Cracking and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by pre-harvest sprays of some growth regulators and mineral nutrients. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 5, n. 2, p. 71-76, 2013.
- KORKMAZ, N.; AŞKIN, M. A.; ERCİŞLİ, S.; OKATAN, V. Foliar application of calcium nitrate, boric acid and gibberellic acid affects yield and quality of pomegranate (*Punica granatum* L.). **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, 15(3), p. 105-112, 2016.
- LIANG, S. M.; CHEN, S. C.; LIU, Z. L., SHAN, W.; CHEN, J. Y.; LU, W. J.; LAKSHMANAN, P; KUANG, J. F. MabZIP74 interacts with MaMAPK11-3 to regulate the transcription of MaACO1/4 during banana fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 169, p. 111293, 2020.
- LI, W. C.; WU, J. Y.; ZHANG, H. N.; SHI, S. Y.; LIU, L. Q.; SHU, B.; LIANG, Q. Z.; XIE, J. H.; WEI, Y. Z. De novo assembly and characterization of pericarp transcriptome and identification of candidate genes mediating fruit cracking in *Litchi chinensis* Sonn. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 10, p. 17667-17685, 2014.
- MITALO, O. W.; OTSUKI, T.; OKADA, R.; OBITSU, S.; MASUDA, K. HOJO, Y.; MATSUURA, T.; MORI, I. C.; ABE, D.; ASICHE, W. O.; AKAGI, T.; KUBO, Y.; USHIJIMA, K. Low temperature modulates natural peel degreening in lemon fruit independently of endogenous ethylene. **Journal of experimental botany**, v. 71, n. 16, p. 4778-4796, 2020.
- MOURA, E. A. D.; CHAGAS, P. C.; OLIVEIRA, R. R.; TAVEIRA, D. L. L.; GRIGIO, M. L.; ARAÚJO, W. F. Determination of the harvest time of sugar apples (*Annona squamosa* L.) in function of carpel interspace. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2020.
- OZTURK, B.; BEKTAS, E.; AGLAR, E.; KARAKAYA, O.; GUN, S. Cracking and quality attributes of jujube fruits as affected by covering and pre-harvest Parka and GA3 treatments. **Scientia horticulturae**, v. 240, p. 65-71, 2018.

PAREEK, S.; YAHIA, E. M.; PAREEK, O. P.; KAUSHIK, R. A. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1741-1751, 2011.

PEREIRA, F.M.; KAVATI, R. Contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas de clima subtropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. especial, p. 92-108, 2011.

RABÊLO, S.V; COSTA, M.M.D.; LIBÓRIO, R.C.; ALMEIDA, J.R.G.D.S. Antioxidant and antimicrobial activity of extracts from atemoia (*Annona cherimola* Mill x *A. squamosa* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. especial, p. 265-271, 2014.

SOBRINHO, R. B. Produção integrada de Anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 102-107, 2014.

VIEIRA, G. H. M. **Tratamentos físicos em pós-colheita de atemoia ‘Thompson’**. 2018. 152 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.

ZHANG, L.; HUANG, C.; ZHAO, Y.; ZHENG, C.; HU, C. Post-ripening and senescence behavior of atemoya (*Annona cherimola* × *A. squamosa*) under two typical storage temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 200, p. 112336, 2023.

CAPÍTULO I

QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA ATEMOIA EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

RESUMO

A atemoia é um híbrido, resultante do cruzamento de pinha (*Annona squamosa*) e cherimoia (*A. cherimola*), e é muito apreciado por suas características organolépticas. Entretanto, esse fruto possui uma vida útil pós-colheita curta, atribuído à sua alta atividade metabólica. Ainda, sabe-se pouco sobre seu ponto de colheita quando cultivado em condições semiáridas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade dos frutos de atemoia em diferentes estádios de maturação cultivado em condições semiáridas. A colheita dos frutos foi realizada no pomar comercial. O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5, sendo três estádios de maturação do fruto (100, 105 e 110 dias após a polinização - DAP) e cinco tempos de armazenamento refrigerado (0, 3, 6, 9 e 12 dias) com quatro repetições. Os frutos foram expostos a uma temperatura de $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $74\pm 2\%$ submetidos às seguintes avaliações: aparência, incidência de rachadura, massa, perda de massa fresca, cor do fruto e da polpa (Luminosidade, cromaticidade e °Hue), firmeza do fruto e polpa, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, vitamina C, açúcares totais, açúcares redutores, amido, atividade antioxidante DPPH e polifenóis extraíveis totais. As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p<0,05$), e os efeitos dos tratamentos quantitativos foram submetidos à regressão polinomial. Ao longo do armazenamento houve uma perda de massa fresca significativa de 13,83; 11,99 e 11,92% para os frutos colhidos nos estádios de 100, 105 e 110 DAP, respectivamente; assim como, redução na firmeza e no teor de amido que foi convertido em açúcares. Para todos os estádios de maturação estudados a vida útil dos frutos foi limitada em nove dias pelas notas de aparência que foi comprometida, principalmente pelo aparecimento de rachaduras e escurecimento da casca. Os frutos colhidos nos estádios de maturação de 105 e 110 DAP apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento, onde obtiveram melhor aparência, maior massa, menor perda de peso e maior teor de sólidos solúveis e vitamina C.

Palavras-chave: *Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill. Ponto de colheita. Condições semiáridas. Aparência.

CHAPTER I

POSTHARVEST QUALITY OF ATEMOIA AT DIFFERENT STAGES OF RIPENESS

ABSTRACT

The atemoia is a hybrid, resulting from the crossing of pine cone (*Annona squamosa*) and cherimoia (*A. cherimola*), is highly appreciated for its organoleptic characteristics. However, this fruit has a short post-harvest shelf life, attributed to its high metabolic activity. Still, little is known about its harvest point when grown in semi-arid conditions. Thus, the objective of this work was to evaluate the quality of atemoia fruits at different stages of ripeness grown under semi-arid conditions. The fruit was harvested from the commercial orchard. The experiment was carried out in a completely randomized design (DIC) in a 3x5 factorial scheme, with three stages of fruit ripeness (100, 105 and 110 days after pollination - DAP) and five refrigerated storage times (0, 3, 6, 9 and 12 days) with four replications. Fruits were exposed to a temperature of $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $74\pm 2\%$ subjected to the following evaluations: appearance, incidence of cracking, mass, loss of fresh mass, fruit and flesh color (Luminosity, chromaticity and °Hue), fruit and flesh firmness, soluble solids, pH, titratable acidity, vitamin C, total sugars, reducing sugars, starch, DPPH antioxidant activity and total extractable polyphenols. The variables evaluated were submitted to analysis of variance (ANOVA) by the F test ($p < 0.05$), and the effects of quantitative treatments were submitted to polynomial regression. Throughout storage there was a significant fresh mass loss of 13.83; 11.99 and 11.92% for fruits harvested at 100, 105 and 110 DAP stages, respectively; as well as, reduction in firmness and starch content that was converted to sugars. For all the ripening stages studied, the shelf life of the fruits was limited by nine days by the appearance scores which was compromised, mainly by the appearance of cracks and darkening of the peel. Fruits harvested at the 105 and 110 DAP maturity stages showed better quality at the end of storage, where they obtained better appearance, higher mass, lower weight loss and higher soluble solids and vitamin C content.

Keywords: *Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill. Harvest point. Semi-arid conditions. Appearance.

1 INTRODUÇÃO

As plantas da família Anonácea possuem uma grande capacidade de adaptação, o que lhes permite ser cultivadas com sucesso em regiões de clima tropical e subtropical, apresentando uma produtividade excelente (Chagas *et al.*, 2022). Embora as anonáceas sejam plantas facilmente adaptáveis, as variações climáticas podem exercer influência direta sobre as características fisiológicas na qualidade dos frutos (Moura *et al.*, 2020).

A atemoia é uma fruta da família Annonaceae que resulta do cruzamento entre a pinha ou fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) e a cherimoia (*Annona cherimola* Mill.). Esse híbrido interespecífico combina características das duas espécies, incluindo o sabor doce da cherimoia, que é altamente apreciado pelos consumidores, e a capacidade de adaptação a regiões com climas um pouco mais frios do que os exigidos para o cultivo da pinha (Chagas *et al.*, 2022). É considerada uma das frutas de maior valor comercial pertencente ao gênero *Annona*, juntamente com outras espécies, devido suas excelentes características organolépticas e seu alto valor nutricional, esta fruta tem se tornando cada vez mais popular (Gong *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023a).

A atemoia é classificada como um fruto climatérico, o que significa que possui um período de vida útil relativamente curto. Isso se deve à sua alta taxa de respiração e teor de sólidos solúveis, o que acelera o processo de maturação. Essas características tornam a atemoia suscetível ao amolecimento e rachaduras, resultando em perda da qualidade e valor comercial do fruto (Pareek *et al.*, 2011).

O processo de amadurecimento da fruta está relacionado a alterações fisiológicas e bioquímicas significativas (Wang; Seymour, 2022; Zhu *et al.*, 2022). Contudo, a fim de aprimorar a qualidade dos frutos e prolongar sua vida útil após a colheita, é recomendado que frutos com características climatéricas sejam colhidos antes do início do processo de amadurecimento, uma vez que a maturação contínua durante o armazenamento (Liu *et al.*, 2015).

Existem duas abordagens opostas para a colheita: a colheita precoce e a colheita tardia. A colheita precoce dificulta a maturação completa dos frutos, enquanto a colheita tardia reduz a vida útil do fruto. Portanto, tanto na colheita precoce quanto na colheita tardia, os frutos se tornam mais propensos a desenvolver distúrbios fisiológicos em comparação com a colheita realizada no momento adequado (Moura *et al.*, 2020).

No entanto, as informações atuais disponíveis sobre o processo de amadurecimento e envelhecimento pós-colheita dos frutos da Anonácea ainda é limitado, especialmente quando

se consideram as variações entre as diferentes variedades e condições climáticas. Devido à sua natureza altamente perecível e sensível às condições ambientais ao longo de todo o ciclo, desde o cultivo até o transporte, desta forma, o sistema de produtos frescos apresenta uma alta perecibilidade (Gan, 2022). Portanto, é de extrema importância estudar sua maturação e qualidade dos frutos para definir o melhor ponto de colheita.

No contexto mencionado, a determinação do momento adequado para a colheita dos frutos de atemoia apresenta um desafio relevante. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e vida útil dos frutos de atemoia em diferentes estádios de maturação cultivado em condições semiáridas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A colheita dos frutos de atemoia (*Annona squamosa x Annona cherimola*) ‘Gefner’ foi realizada em abril de 2022 no pomar comercial da fazenda Dani Frutas, localizada no Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil (5° 08’ 38.0” S e 37° 59’43.8” W), região semiárida. Os frutos foram levados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró - RN. Foram sanitizados na solução de hipoclorito de sódio (0,1%) por 5 minutos.

O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5, sendo três estádios de maturação do fruto (100, 105 e 110 dias após a polinização - DAP), e cinco períodos de armazenamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) com quatro repetições, a unidade experimental foi representada por um fruto. Os frutos foram armazenados em uma BOD com temperatura de 15±2°C e umidade relativa (UR) 74±2%, onde foram realizadas as seguintes avaliações: Aparência, índice de rachaduras, massa dos frutos, perda de massa fresca, cor, firmeza, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, vitamina C, açúcares totais, açúcares redutores, amido, atividade antioxidante DPPH e polifenóis extraíveis totais.

2.1 Aparência dos frutos

A aparência dos frutos foi avaliada em uma escala de notas de 1 a 5, considerando a presença de depressões, murcha, ataque de patógenos e manchas escuras. Os frutos receberam uma classificação de acordo com essa escala: nota 5- indicando a ausência dessas características indesejáveis; nota 4- para traços leves; nota 3- para presença leve; nota 2- para intensidade média com leve ataque de microrganismos e nota 1- para intensidade severa com

ataque de microrganismos. Frutos com nota igual ou menor que 3 foram considerados impróprios para a comercialização (Lima *et al.*, 2004).

2.2 Índice de rachadura

Todos os frutos de cada estágio de maturação afetados com o surgimento de rachaduras foram contados durante o tempo de armazenamento (Barbosa *et al.*, 2011).

2.3 Massa e Perda de Massa Fresca

A massa fresca dos frutos foi determinada com auxílio de uma balança semi-analítica, e o resultado foi expresso em gramas (g). O cálculo da perda de massa fresca expressa em porcentagem. Em que: $PMF (\%) = ((M_i - M_d) / M_i) * 100$

PMF (%)= Perda de massa; M_i = Massa inicial (g); M_d = Massa do fruto no dia da análise (g).

2.4 Cor da casca e polpa

A cor da casca e da polpa foi determinada com auxílio de colorímetro digital de bancada. Foram realizadas duas leituras em pontos equidistantes em cada fruto e os resultados foram expressos de acordo com as coordenadas CIE lab, que incluem as variáveis L^* (luminosidade), a^* (variação entre as cores verde e vermelho) e b^* (variação entre as cores azul e amarela) (Minolta, 2007). Os valores de a^* e b^* foram convertidos em ângulo Hue (tonalidade) (1) e Croma (saturação) (2), que são as variáveis que melhor representam a evolução da cor da casca da atemoia durante o processo de amadurecimento, conforme equações 1 e 2.

$$H^\circ = 180^\circ + \arctg (b^* / a^*) \quad (1); \quad C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

2.5 Firmeza do fruto

A firmeza dos frutos foi determinada utilizando-se o texturômetro Texture Analyser®, modelo TA.XTExpress/TA.XT2icon (Stable Micro Systems Ltd). Utilizou-se ponteira cilíndrica de 5 mm de diâmetro. Em cada fruto, foram realizadas duas leituras, na região equatorial e em pontos equidistantes. O resultado foi expresso em Newton (N).

2.6 Vitamina C

A vitamina C foi determinada por titulometria com solução Tillman (DFI – 2,6 diclorofenol-indofenol a 0,02%), tomando-se 1 g das amostras e diluindo para balão

volumétrico de 50 mL com ácido oxálico 0,5%, (Instituto Adolfo Lutz, 2008) os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de polpa.

2.7 pH

Para a realização da leitura foi pesado 5 g de polpa e adicionou 50 mL de água destilada, o pH foi determinado com auxílio de potenciômetro de leitura direta, devidamente padronizado com soluções tampão. Após a estabilização dos resultados expressos no painel do equipamento, os dados mensurados foram expressos em valores reais de pH (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

2.8 Acidez Titulável

A acidez titulável (AT) foi determinada por titulação volumétrica com solução de NaOH (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Aproximadamente 1 g da polpa foram diluídos em 49 mL de água destilada e acrescidos de três gotas do indicador fenolftaleína a 1%. Essa mistura foi titulada lentamente com solução de NaOH 0,01 M, Os resultados foram expressos em miliequivalente (meq) por 100g de polpa.

2.9 Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado com o auxílio de um refratômetro digital, com correção automática de temperatura de acordo com metodologia recomendada por AOAC (2002), e os resultados foram expressos em porcentagem (°Brix).

2.10 Açúcares Totais (AT)

Os Açúcares totais foram determinados pelo método de Antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno), conforme Yemn e Willis (1954), a partir de 1 g das amostras diluídas em balão volumétrico de 100 mL de álcool 80 %, retirou-se 10 mL da solução para outro balão de 100 mL e completou o volume com água destilada. Depois, foi tomada uma alíquota para realizar a análise; a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm, e os resultados foram expressos em porcentagem.

2.11 Açúcares Redutores (AR)

Os extratos para a determinação dos açúcares redutores foi realizado conforme Yemn e Willis (1954) e Miller (1959), a partir de 3 g das amostras diluídas em balão volumétrico de

100 mL de álcool 80 %, retirou-se 10 mL da solução para outro balão de 100 mL e completou o volume com água destilada. A quantificação foi determinada pelo o método DNS (3,5 - Dinitro – Salicílico, Sigma). O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro a leitura realizada a 540 nm, sendo os resultados expressos em porcentagem (%).

2.12 Amido

Para a quantificação do amido a metodologia utilizada foi descrita pela Association of Office Analytical Chemistry – AOAC (2002) e por Miller (1959). A quantificação foi determinada pelo o método DNS (3,5 - Dinitro – Salicílico, Sigma). O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro, a leitura realizada a 540 nm, os resultados expressos em porcentagem (%).

2.13 Atividade Antioxidante Total DPPH

A atividade antioxidante total foi avaliada usando o método do radical DPPH, conforme descrito por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) e modificada por Sánchez-Moreno; Larrauri; Saura-Calixto (1998). A partir do extrato, foram preparados tubos de ensaio com diferentes diluições. A absorbância foi medida a 515 nm após 2 minutos. Todas as análises foram feitas em triplicata, com um controle utilizado como referência, os resultados foram expressos em % sequestro.

2.14 Polifenóis Extraíveis Totais (PET)

Os extratos para determinação dos polifenóis extraíveis totais (PET) através do reagente de Folin-Ciocalteu, utilizando o ácido gálico como padrão, conforme é descrito por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997) com algumas modificações. Foram realizadas com absorbância 700 nm em espectrofotômetro, os resultados foram expressos como mg.100 g⁻¹ de polpa.

2.15 Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$), os dados qualitativos foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e os efeitos dos tratamentos quantitativos foram submetidos à regressão polinomial. As análises foram realizadas pelo programa RStudio Versão 4.1.1 (Rstudio Team, 2021). As figuras dos gráficos foram produzidas no programa SigmaPlot 14.0.

3 RESULTADOS

3.1 Aparência do fruto e índice da rachaduras

Os frutos de atemoia apresentam uma coloração verde uniforme quando colhidos. No entanto, ao sexto dia de armazenamento, os frutos começaram a apresentar manchas amarronzadas (escurecimento) nas extremidades dos carpelos, contribuindo assim para uma diminuição significativa na aparência visual dos frutos. Durante o amadurecimento dos frutos verificou-se um aumento do escurecimento e rachaduras, onde aos 12 dias de armazenamento os frutos apresentavam uma média da nota dada de 2,05; 2,25 e 2,50 (100, 105 e 110 DAP, respectivamente) na aparência do fruto, tornando-os inadequada para a comercialização.

Durante o período de armazenamento dos frutos ocorreu rachaduras próximo ao pedúnculo (Figura 1), iniciando este distúrbio fisiológico a partir dos 9 dias de armazenamento nos estádios de maturação 105 e 110 DAP com 25% e ao final (12 dias) tinham 75% dos frutos rachados. Com relação aos frutos colhidos no estágio 100 DAP apenas no 12º dia apresentaram rachaduras que atingiu 25% dos frutos.



Figura 1. Rachadura dos frutos durante o armazenamento a temperatura de $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR.

3.2 Massa e perda de massa fresca

Na figura 2A a massa dos frutos apresentou resultados significativos com $p < 0,001$ entre os estádios expondo uma massa 293, 433 e 435 g nos respectivos estádios 100, 105 e 110 DAP. A perda de massa fresca (PMF) aumentou gradativamente durante o armazenamento para todos os estádios de maturação (Figura 2B). A qual apresentou diferença

significativa entre os dois fatores. Sendo que, as maiores percentagens de PMF foram verificadas principalmente nos frutos colhidos com 100 DAP e 12 dias de armazenamento com 13,83%, entretanto nos outros estádios de maturação (105 e 110 DAP) apresentaram uma média de 11,99 e 11,92%, respectivamente.

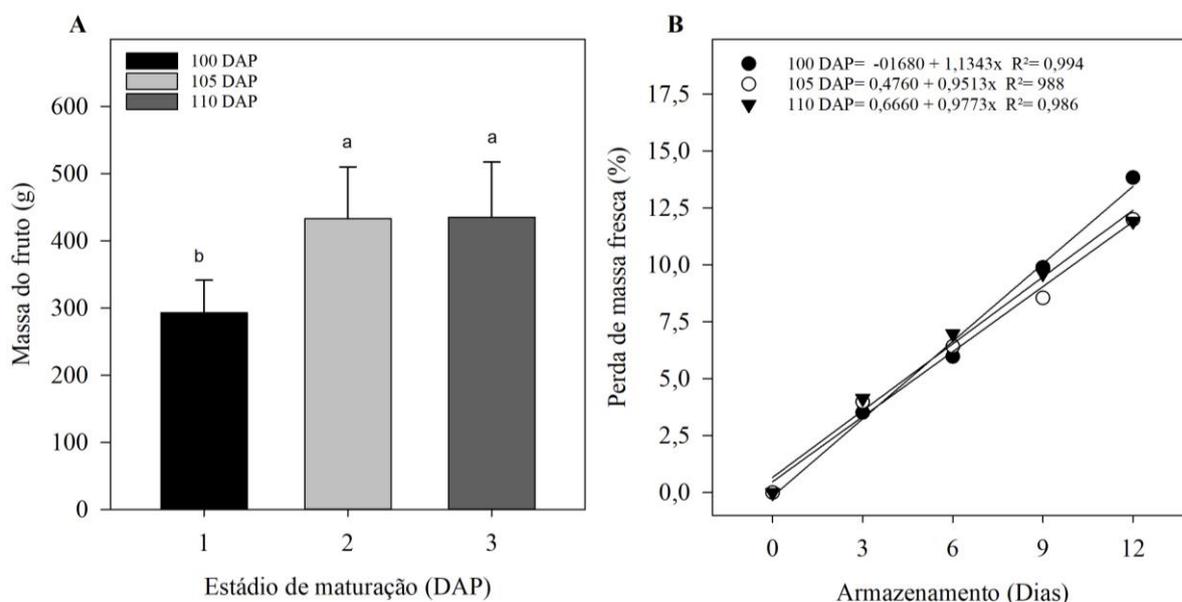


Figura 2. (A) Massa do fruto e (B) perda de massa fresca em atemoia ‘Gefner’ colhidos em diferentes estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias. Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$).

3.3 Coloração do fruto e polpa

Os valores de luminosidade (Brilho) e cromaticidade (intensidade) tiveram uma diminuição ao longo do armazenamento como mostra as figuras 3A e B. Provavelmente esta redução do brilho e da intensidade da cor está associada ao escurecimento em decorrência do avanço do amadurecimento seguido do processo de senescência dos frutos. Com relação aos estádios de maturação (100, 105 e 110 dias), tanto a luminosidade quanto a cromaticidade do fruto não apresentou diferença significativa, ou seja, em ambos os estádios o brilho e a cor são semelhantes. Os valores de $^\circ\text{Hue}$ na casca das atemoia não apresentaram diferenças significativas entre os dois fatores avaliados, nem houve interação. As médias do $^\circ\text{Hue}$ na casca nos estádios de maturação foram de 178,60; 178,59 e 178,58 (100, 105 e 110 DAP, respectivamente). De acordo com as variáveis avaliadas de coloração, os frutos nos respectivos estádios citados acima não apresentou ser um parâmetro para a sua colheita.

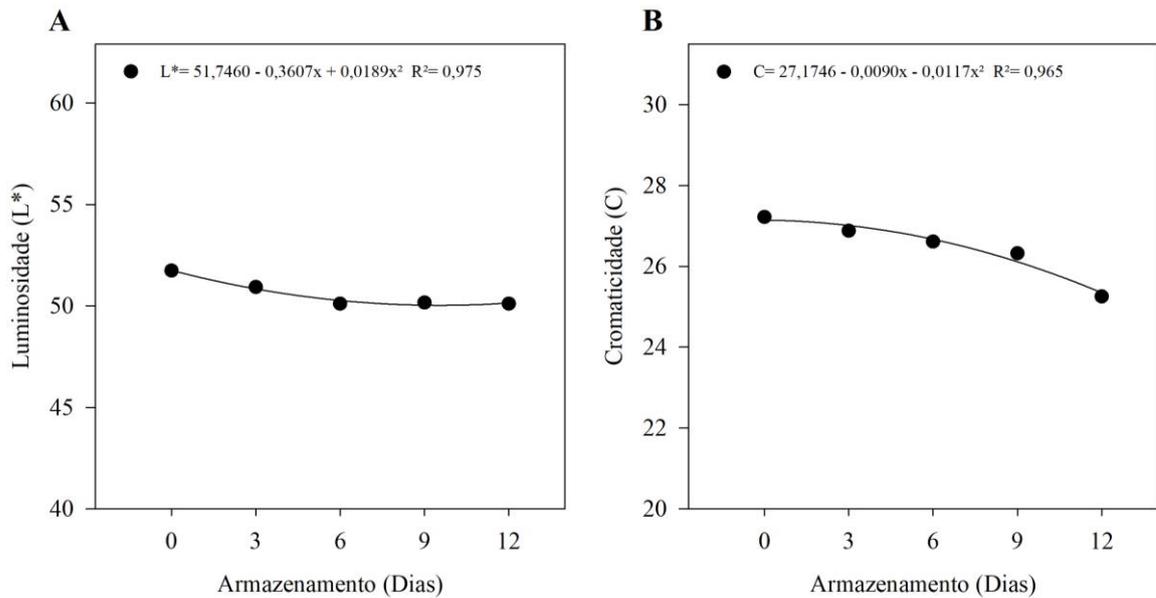


Figura 3. (A) Luminosidade do fruto L^* e (B) cromaticidade do fruto C^* em atemoia ‘Gefner’ colhidos em diferentes estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

Os valores de luminosidade da polpa (L^*) apresentou interação entre os fatores (estádios e armazenamento) havendo uma diferença estatística como mostra a figura 4A, sendo que conforme o tempo de armazenamento ocorreu houve uma redução no brilho da polpa. A variação de luminosidade obtida na polpa de atemoia demonstraram valores de 82,08 no dia zero e de 73,79 para o 12º dia de armazenamento, uma diferença de 8,29 L^* . Os resultados obtidos para o valor de cromaticidade da polpa nos frutos de atemoia indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa entre os estádios, mais para o período de armazenamento, conforme observado na figura 4B. Observou-se uma variação na cromaticidade com um valor de 7,67 no dia zero e de 9,93 no 12º dia de armazenamento. O ângulo Hue na polpa não teve diferença significativa, nesta variável exibiu médias de 178,55; 178,52 e 178,52 (100, 105 e 110 DAP, respectivamente).

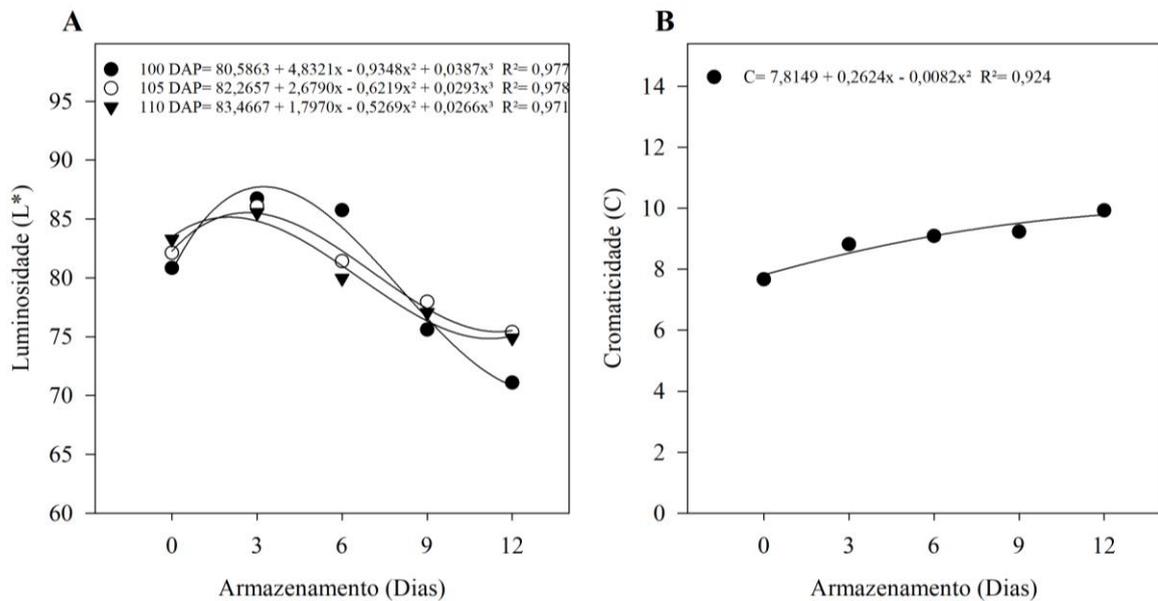


Figura 4. (A) Luminosidade da polpa L* e (B) cromaticidade da polpa C* em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

3.4 Firmeza do fruto e polpa

Em relação a firmeza do fruto e da polpa diminuiram ao longo do armazenamento (Figura 5A e B). No entanto, para a firmeza do fruto não houve interação significativa, mas houve diferença entre o tempo de armazenamento. Já em relação à firmeza da polpa houve interação entre o armazenamento e os estádios de maturação. No dia da colheita os frutos colhidos aos 110 DAP tiveram uma menor firmeza, mas no final do armazenamento não houve diferença entre os estádios.

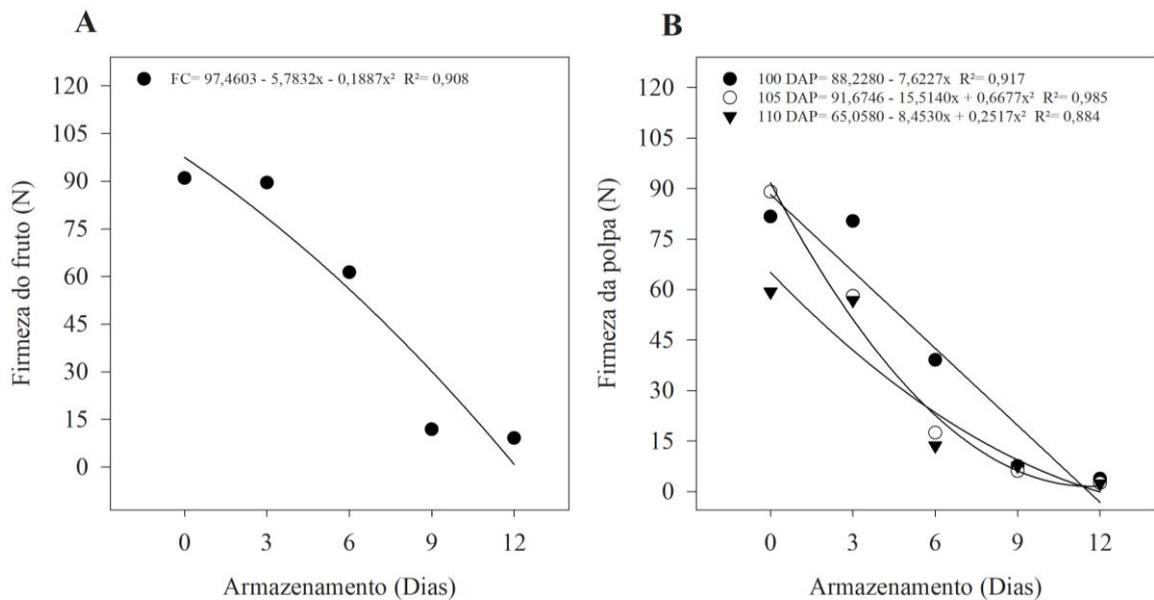


Figura 5. (A) Firmeza do fruto e (B) Firmeza da Polpa em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

3.5 Acidez titulável e pH

A acidez total titulável (AT) apresentou interação entre o estágio de maturação e o tempo de armazenamento (Figura 6A). Verificou-se que ocorreu um incremento ao longo do armazenamento, onde aos 9 dias os frutos de todos os estádios já haviam incrementando em aproximadamente 50% quando comparado com o dia da colheita (0), aos 12 dias observou-se que o estágio 110 DAP foi o que obteve o maior valor de AT, com uma média de $5,27 \text{ meq} \cdot 100 \text{ mg}^{-1}$. Para o pH também verificou-se interação significativa entre os fatores estudados (Figura 6C), no qual diminuiu gradativamente ao longo do armazenamento para todos os estádios, no dia da colheita apresentaram uma média de 6,6; e aos 12 dias, 4,6. Concordando com o aumento da acidez titulável que reduz o pH.

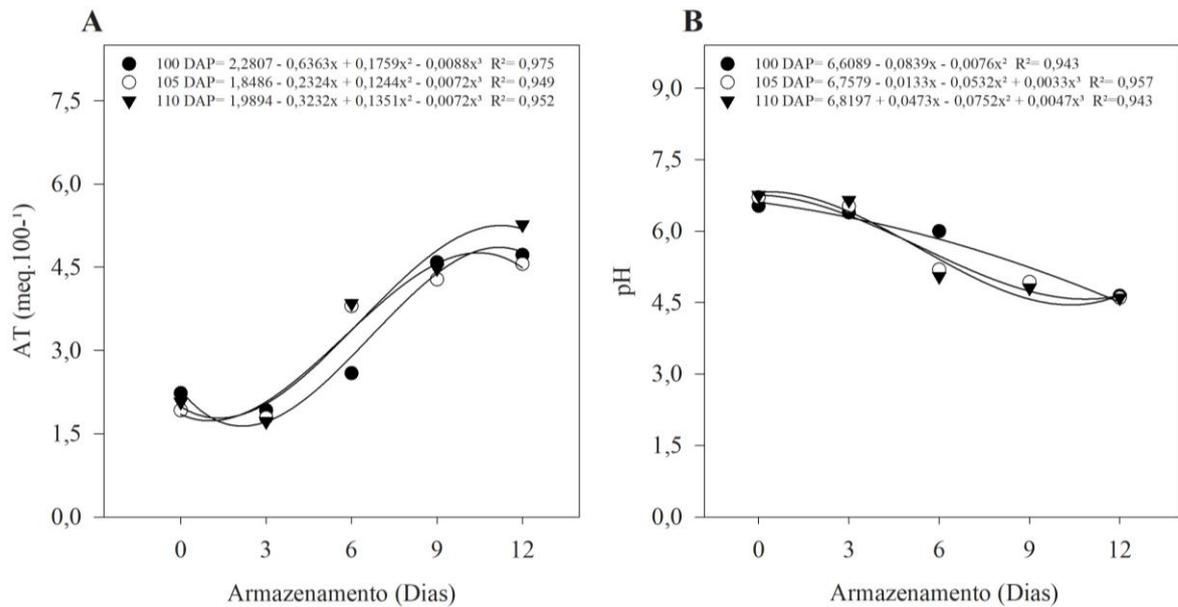


Figura 6. (A) Acidez Titulável e (B) pH em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

3.6 Vitamina C e Solido solúveis

A vitamina C apresentou interação entre fatores (Figura 7A), onde observou-se que os valores para os frutos colhidos aos 100 DAP diminuíram ao longo do armazenamento, os frutos colhidos aos 105 DAP apresentaram um aumento até os nove dias. Enquanto os frutos colhidos aos 110 DAP manteve uma tendência de aumento da vitamina C até o final do armazenamento, além de apresentarem os maiores teores quando comparados com os frutos dos demais estádios.

Em relação ao teor de sólidos solúveis (SS), houve interação significativa entre os dois fatores (Figura 7B). Sendo que no início do armazenamento os frutos de todos os estádios apresentaram um teor médio de $3,3^\circ\text{Brix}$, e ao longo do armazenamento aumentaram, constatou-se que ao final do armazenamento os teores de SS apresentaram valores médios de $23,55$; $27,25$ e $27,05^\circ\text{Brix}$ para 100, 105 e 110 DAP, respectivamente.

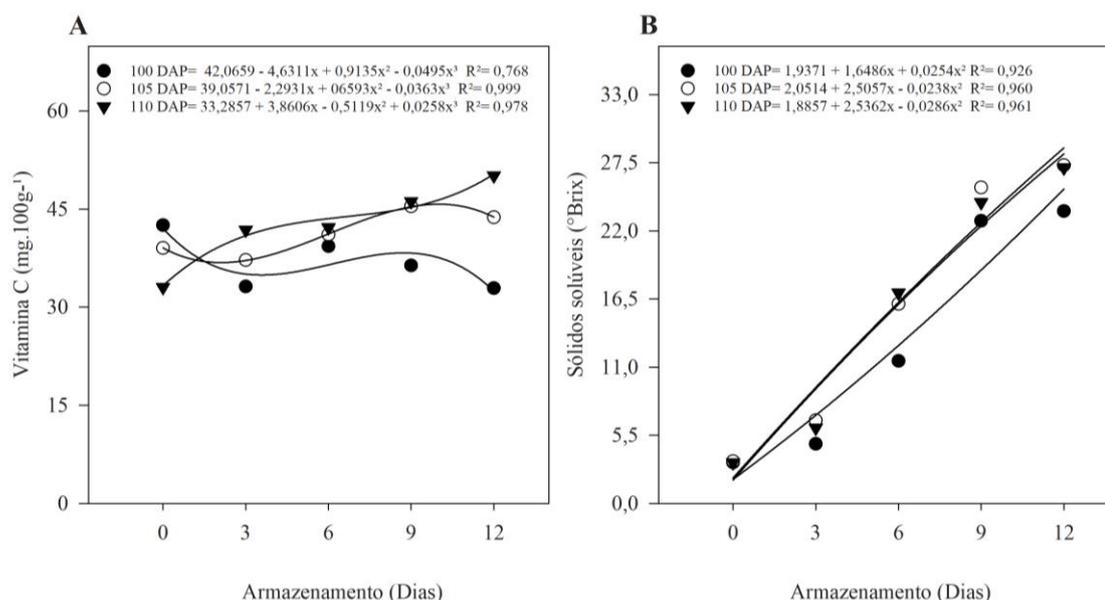


Figura 7. (A) Vitamina C e (B) Sólidos Solúveis (SS) em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

3.7 Açúcares totais, Açúcares redutores e Amido

Na figura 8A apresenta a quantificação de amido que observou-se uma interação significativa entre os fatores ($p < 0,001$), no qual houve uma gradativa diminuição ao longo do armazenamento, onde no dia da colheita apresentou valores de 8,0; 11,02 e 10,80%, enquanto que ao final do armazenamento verificou valores de 0,7; 1,08 e 1,2% nos estádios 100, 105 e 110 DAP, respectivamente. Nos açúcares totais decorreu de uma diferença significativa com o ($p < 0,001$) no fator armazenamento que no dia zero tinha 1,42% e no 12° 16,29% (Figura 8B). Em relação aos açúcares redutores também mostrou um aumento de 0,25% para 2,27% entre o dia zero e o final do armazenamento (Figura 8C). Como é representado nos dados citados, o amido está diretamente ligado na elevação dos teores de açúcares.

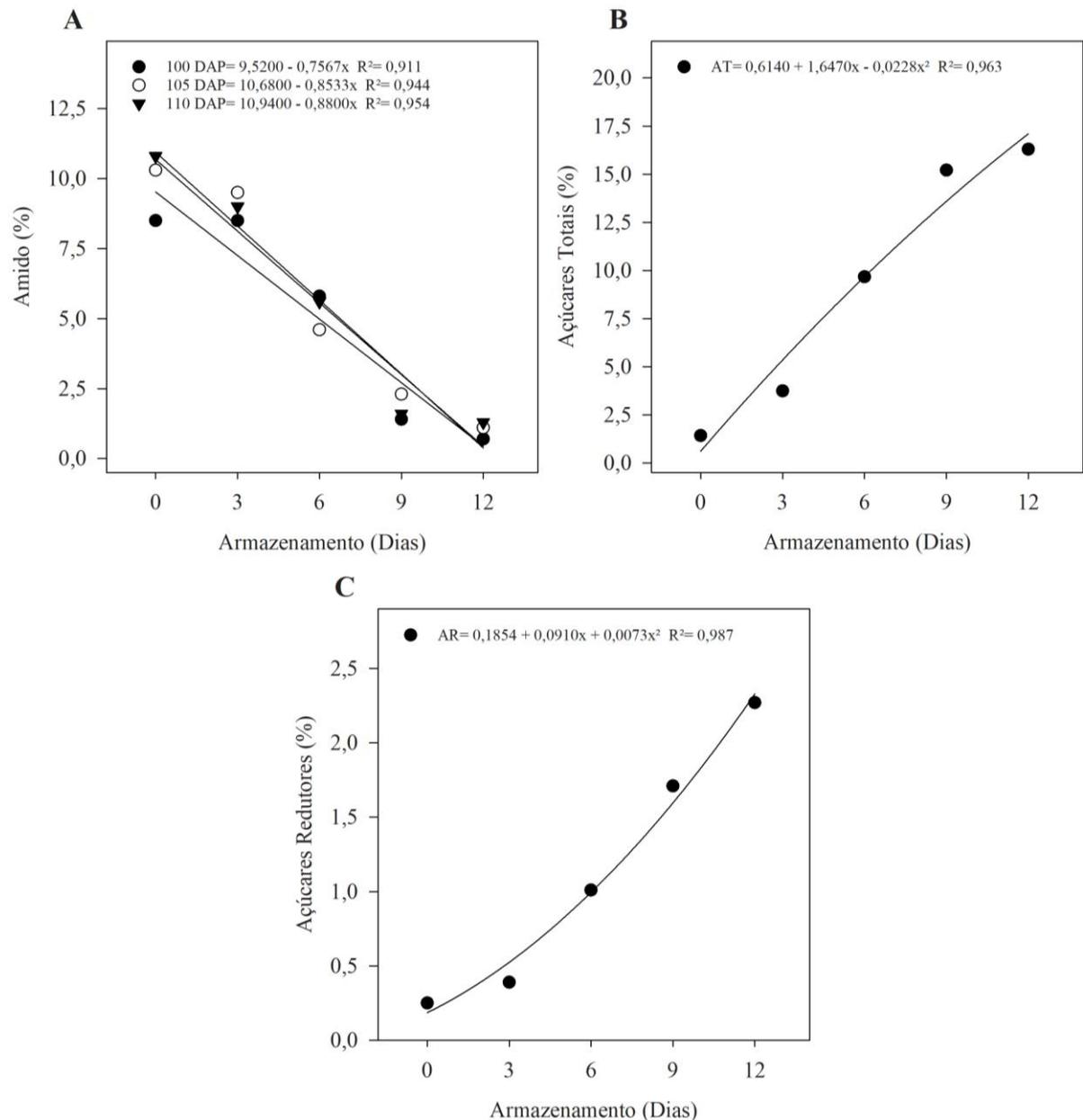


Figura 8. (A) Amido, (B) Açúcares Totais e (C) Açúcares Redutores em atemoia 'Gefner' colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a $15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $74 \pm 2\%$ de UR durante 12 dias.

3.8 Atividade antioxidante DPPH e Polifenóis Extraíveis totais (PET)

Para a atividade antioxidante houve uma diferença significativa ($p < 0,001$) no tempo de armazenamento (Figura 9A), verificou-se um incremento a partir do sexto dia, com uma média de 85,24% e aos 12° dia 85,18%. Os polifenóis extraíveis totais não apresentaram interação entre os dois fatores (Figura 9B), entretanto, houve diferença significativa durante o armazenamento ($p < 0,001$), que seguiu o comportamento da atividade antioxidante, onde

verificou-se um incremento a partir do sexto dia com uma média de 67,14 mg.100 g⁻¹ e ao final do armazenamento obteve uma média de 91,04 mg.100 g⁻¹.

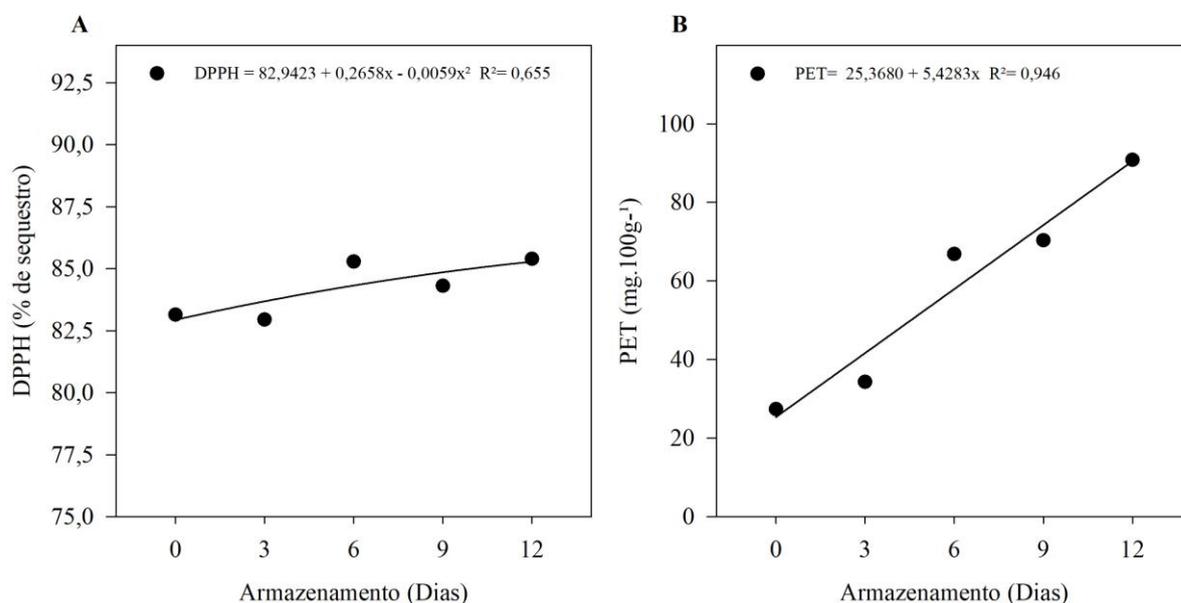


Figura 9. (A) Atividade Antioxidante DPPH, (B) Polifenóis Extraíveis Totais (PET) em atemoia ‘Gefner’ colhidos nos estádios de maturação 100, 105 e 110 dias após a polinização (DAP) e armazenadas a 15 ± 2°C e 74 ± 2% de UR durante 12 dias.

4 DISCUSSÃO

As frutas frescas desempenham um papel fundamental na alimentação diária das pessoas, devido ao seu sabor atrativo e seu alto valor nutricional, como destacado por Li *et al.* (2021) e Zhang *et al.* (2021a). No entanto, a logística pós-colheita das frutas frescas enfrenta um desafio significativo devido à rápida senescência e decomposição desses alimentos, resultando em perdas consideráveis e redução do valor da mercadoria, como enfatizado por Zhang *et al.* (2021b).

Em relação à aparência de diversos frutos, a cor desempenha um papel crucial na avaliação da maturidade e qualidade (Etemadipoor *et al.*, 2019, Farcuh *et al.*, 2020). Durante o armazenamento, a atemoia exibiu uma alteração visível em seu pericarpo, que passou de verde para uma tonalidade amarronzada nas extremidades dos carpelos. Como resultado, a aceitação da fruta decaiu significativamente em termos de sua aparência. Zheng *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2023a) menciona que o processo de escurecimento pode ter implicações na qualidade da fruta, e este fenômeno é causado por um processo enzimático que resulta na

mudança da cor do pericarpo, resultando em um produto que não é adequado para comercialização.

Durante a fase pós-colheita das frutas frescas, é evidente a deterioração da qualidade, resultando na perda de características sensoriais e nutricionais. O escurecimento, que é uma das manifestações mais visíveis da deterioração em diversas frutas frescas e intactas, tem limitado o avanço da indústria pós-colheita de frutas (Zhang *et al.*, 2015; He *et al.*, 2021). Isso é evidenciado na escala de notas efetuada durante o armazenamento dos frutos.

Outro problema fisiológico que ocorre em atemoia é a rachadura durante seu amadurecimento, sendo um fator crucial na perda de sua qualidade como representa na figura 2 e 3 o índice de rachaduras. Yang *et al.* (2011) descreve que o desenvolvimento dos frutos em diferentes estágios e as propriedades físicas do pericarpo, que estão relacionadas ao metabolismo das células da parede, têm um impacto importante na incidência de rachaduras nos frutos. Zhang *et al.* (2021a) menciona que o processo de amadurecimento pode estar ligado com distúrbios fisiológicos, que está associado à rápida senescência e decomposição, interferindo diretamente a pós-colheita dos frutos.

Chen *et al.* (2019) relataram que a degradação do amido em açúcares solúveis e o metabolismo dos polissacarídeos da parede celular estão intimamente relacionados ao amadurecimento da atemoia. Li *et al.* (2019) observaram que a parede celular da atemoia sofre uma extensa degradação enzimática durante o processo de amadurecimento. Estas características citadas podem estar interligadas ao distúrbio fisiológico das rachadura que durante o processo de amadurecimento houve um aumento e o amido reduziu (figura 1 e 8A)

Pereira *et al.* (2019) relatam que frutos de boa qualidade para a comercialização em São Paulo, que é referência na produção de atemoia no Brasil, são aqueles que apresentam uma boa formação e uma massa superior a 300 g. No eventual trabalho, os frutos nos estádios de 105 e 110 DAP apresentaram valores em sua massa exigido pelo mercado consumidor, os frutos com 100 DAP apresentou uma massa inferior (Figura 4A).

A redução da massa fresca é um fator importante para avaliar a durabilidade da fruta durante o período de conservação após a colheita, pois demonstra a evaporação, o processo respiratório e diversas mudanças no funcionamento do organismo (CHEN *et al.*, 2022). De maneira geral, observou-se que houve um aumento progressivo na perda de massa dos frutos (Figura 4B), sendo que ao final de 12 dias de armazenamento apresentou uma perda de 13,55; 11,84 e 11,89% (100, 105 e 110 DAP, respectivamente). No trabalho realizado por Zhang *et al.* (2023a) com frutos de atemoia submetido a temperatura de 15 e 25°C, também observaram

no final do armazenamento um aumento da perda de massa fresca de 7,62% (10 dias) e 13,18% (5 dias), respectivamente.

Na maioria das frutas, quando a perda de massa fresca excede 8%, a aparência da fruta tende a se tornar murcha, resultando em um comprometimento da aparência e impactando negativamente sua aceitação pelos consumidores (Cruz-Bravo *et al.*, 2019). Chitarra e Chitarra (2005) relatam que uma perda de massa de 3% pode acarretar em uma diminuição na qualidade das frutas.

A intensidade da coloração desempenha um papel fundamental na identificação do momento adequado para a colheita e na estimativa do tempo necessário para o amadurecimento (Pareek *et al.*, 2011). De acordo com a Figura 1 do presente trabalho a cor não foi um índice determinante para o ponto de colheita, pois não houve diferença entre os estádios de maturação no dia da colheita. Entretanto, durante o armazenamento houve alteração nesta variável pela alteração do brilho (luminosidade) e da intensidade (cromaticidade) como pode ser observado na figura 5A e B. Liu *et al.* (2021) descreve que a cor da fruta exerce influência sobre a preferência dos consumidores. A manifestação de escurecimento ou deterioração em frutas após a colheita pode ser identificada por meio da redução da luminosidade. De acordo com Zhang *et al.* (2023b), a presença de manchas escuras na casca pode ser resultado de vários elementos, como o processo de envelhecimento, a perda de água, danos causados pelo frio, ação de patógenos e danos físicos.

Hou *et al.* (2023) afirmam que retardar o escurecimento e prevenir manchas marrons na atemoia indica um retardo no amadurecimento, o que melhora a qualidade da fruta após a colheita e prolonga sua vida útil. A aparência da superfície das frutas é crucial como indicador de frescor, ou seja, um fruto com uma coloração intensa e uniforme influencia a decisão de compra dos consumidores, porque estes associam a uma maior qualidade e saúde do alimento. Uma casca brilhante é um sinal visual de frescor (Santos *et al.*, 2018; He *et al.*, 2020).

A variação na consistência da atemoia em relação a firmeza está diretamente ligada às suas propriedades de amolecimento ao longo do armazenamento. Tanto a fruta quanto a polpa foram perdendo sua firmeza progressivamente, como evidenciado na Figura 7A e B. De acordo com Deng *et al.* (2019), a redução da firmeza da fruta é um indicativo de seu amadurecimento, o qual está associado à deterioração da estrutura da parede celular.

No entanto, há limitações em relação aos detalhes sobre como as características mecânicas da fruta de atemoia se transformam durante o processo de amadurecimento e como são influenciadas pelo processamento após a colheita (Gong *et al.*, 2020). De acordo com Lin *et al.* (2018), o amolecimento da polpa e a aparente alteração de cor ao longo do processo de

amadurecimento e senescência são dois fatores principais que impactam a durabilidade e o valor de mercado da fruta após a colheita.

Uma característica de anonáceas é o aumento da acidez durante o processo de amadurecimento do fruto, o que a diferencia da maioria das frutas após a colheita. Nos frutos dessa família, observa-se um acúmulo de ácido cítrico durante a fase inicial de maturação (Moura *et al.*, 2020). A concentração de acidez titulável desempenha um papel fundamental nas propriedades sensoriais das frutas, influenciando tanto o seu sabor quanto o aroma, conforme destacado por Chitarra e Chitarra (2005).

O pH da atemoia diminuiu de 6,67 após a colheita para 4,88 no final do armazenamento (Figura 8B). Pinto *et al.* (2011) relata que esse processo pode ser atribuído ao aumento na concentração de ácidos orgânicos resultantes da degradação da parede celular pelas enzimas pécnicas. Que além de afetarem diretamente os valores de pH, esses ácidos orgânicos também desempenham um papel importante no processo de amadurecimento dos frutos (Anese; Fronza, 2015). No contexto da conservação pós-colheita, um pH mais baixo possibilita um maior tempo de armazenamento, uma vez que valores mais baixos favorecem a preservação dos alimentos por dificultar o desenvolvimento de microrganismos (Gondim *et al.*, 2013).

A atemoia, uma fruta de alto teor de carboidratos e açúcares, constitui-se como uma fonte de várias vitaminas e minerais (Padmanabhan; Paliyath, 2016). De acordo com Chou *et al.* (2021) estes frutos além de serem palatável, apresentam valores significativos de vitamina C, potássio e ácidos como o cítrico e o málico. Sousa *et al.* (2013) avaliando atemoia ‘Gefner’ em dois estádios de maturação encontraram valores semelhantes aos estádios estudados no presente trabalho (Figura 9A) com uma de média de vitamina C de 41,18 e 61,26 mg.100g⁻¹ para os frutos maduros e semi-maduros, respectivamente.

Os sólidos solúveis compreendem elementos solúveis em água, como carboidratos, vitaminas, ácidos e aminoácidos, e sua concentração geralmente aumenta devido à degradação de polissacarídeos (Chitarra; Chitarra, 2005). No geral, o incremento nos teores de SS na atemoia, está associado à conversão do amido em açúcares solúveis, sendo menos intenso nos frutos que foram colhidos com 100 DAP (Figura 9B).

A degradação do amido está intimamente ligada ao processo de amadurecimento e envelhecimento das frutas, desempenhando um papel crucial na produção de açúcar e no desenvolvimento do sabor, como também está diretamente relacionado ao processo de amadurecimento e envelhecimento das frutas (Li *et al.*, 2021). Como mencionado por Anese e Fronza (2015) durante o amadurecimento dos frutos, ocorre a conversão do amido, que é a

principal reserva de carbono utilizada na síntese de sacarose após a colheita, em açúcares solúveis.

Na figura 10 A, B e C mostra a relação do aumento dos açúcares com a hidrólise de amido. De acordo com Oliveira *et al.* (2021) o aumento dos açúcares totais nas frutas resulta da quebra do amido, gerando açúcares solúveis, como a glicose. Esses açúcares têm um impacto direto no teor de sólidos solúveis da polpa, que é composta principalmente por açúcares, além de ácidos orgânicos e vitaminas. No entanto, esse aumento nos açúcares pode ser resultado da hidrólise do amido, desidratação das frutas e degradação de polissacarídeos nas paredes celulares.

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários amplamente presentes nas plantas, desempenhando um papel fundamental na cor e sabor dos frutos (Li *et al.*, 2016). Eles são encontrados em diversas plantas e têm sido extensivamente estudados devido aos seus efeitos benéficos para a saúde. Além de suas propriedades antioxidantes, os compostos fenólicos oferecem uma variedade de benefícios, como aumentar a capacidade de eliminar espécies reativas de oxigênio (EROS) e inibir a peroxidação lipídica das membranas celulares (Bondonno *et al.*, 2019; Bento-Silva *et al.*, 2020).

A atemoia apresenta potencial como fonte de compostos com propriedades bioativas devido ao seu conteúdo de compostos fenólicos totais (Santos *et al.*, 2016; De Moraes *et al.*, 2020). Em vista disso, os dados apresentados na figura 11A e B do presente trabalho comprovam que os frutos de atemoia podem ser considerados uma fonte de composto bioativos. Onde a elevada atividade antioxidante observada nesta pesquisa pode ser justificada pelo expressivo teor de compostos fenólicos e vitamina C.

5 CONCLUSÃO

Diante dos dados expostos, conclui-se que ao longo do armazenamento houve uma redução da firmeza, perda de massa fresca elevada e no teor de amido, que foi convertido em açúcares. Sendo que os frutos colhidos aos 100 DAP teve maior perda de massa que atingiu 13,83 %, comprometendo sua aparência. Para todos os estádios de maturação estudados a vida útil dos frutos foi limitada em nove dias pelas notas de aparência que foi comprometida, principalmente pelo aparecimento de rachaduras e escurecimento da casca. Os frutos colhidos nos estádios de maturação de 105 e 110 DAP apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento, onde obtiveram melhor aparência, maior massa, menor perda de massa, maior teor de sólidos solúveis e vitamina C.

6 REFERÊNCIAS

- ANESE, R.O.; FRONZA, D. **Fisiologia Pós-Colheita em Fruticultura**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico: Rede e-Tec Brasil, p.130, 2015.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17. ed. Washington: AOAC, 2002. p.1115.
- BARBOSA, M. C. F.; SOUZA, P. A.; COELHO, E. L.; SILVA, M. S.; SOUSA, D. V.; FREITAS, R. V. S.; FERREIRA, E. O. Avaliação do índice de rachadura em atemoia Gefner armazenada a temperatura ambiente. **Bragantia**, v. 4, p. 21-28, 2011.
- BENTO-SILVA, A.; KOISTINEN, V. M.; MENA, P.; BRONZE, M. R.; HANHINEVA, K.; SAHLSTRØM, S.; KITRYTÉ, V.; MOCO, S.; AURA, A. M. Factors affecting intake, metabolism and health benefits of phenolic acids: do we understand individual variability?. **European journal of nutrition**, v. 59, p. 1275-1293, 2020.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E. BERSET, C. The phenolic constituents of Prunus I. –The quantitative analysis of phenolic constituents. **Lebensm Wiss Technology**. Oxford, v. 28, p. 25-30, 1995.
- BONDONNO, N. P.; DALGAARD, F.; KYRØ, C.; MURRAY, K.; BONDONNO, C. P. LEWIS, J. R.; CROFT, K. D.; GISLASON, G.; SCALBERT, A.; CASSIDY, A.; Tjønneland, A.; Overvad, K.; HODGSON, J. M. Flavonoid intake is associated with lower mortality in the Danish Diet Cancer and Health Cohort. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 3651, 2019.
- CHAGAS, P. C.; CRANE, J.; CHAGAS, E. A.; VENDRAME, W.; COSTA, B. N. S.; NETO, A. R.; MOURA, E. A. Determining the preliminary performance of selected Annonaceae cultivars in subtropical conditions. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3832-e3832, 2022.
- CHEN, H.; LIN, H.; JIANG, X.; LIN, M.; FAN, Z. Amelioration of chilling injury and enhancement of quality maintenance in cold-stored guava fruit by melatonin treatment. **Food Chemistry: X**, v. 14, p. 100297, 2022.
- CHEN, J.; DUAN, Y.; HU, Y.; LI, W.; SUN, D.; HU, H.; XIE, J. Transcriptome analysis of atemoya pericarp elucidates the role of polysaccharide metabolism in fruit ripening and cracking after harvest. **BMC Plant Biology**, v. 19, p. 1-19, 2019.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças- Fisiologia e Manuseio**. Lavras: UFLA, 2005.
- CHOU, C. H.; WANG, C. Y.; SHYU, Y. T.; WU, S. J. The effect of high-pressure processing on reducing the glycaemic index of atemoya puree. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 4, p. 1546-1553, 2021.
- CRUZ-BRAVO, R. K.; GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; ARAIZA-HERRERA, H. A., ZEGBE, J. A. Storage alters physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant capacity of cactus pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 150, p. 105-111, 2019.

DE MORAES, M. R.; RYAN, S. M.; GODOY, H. T.; THOMAS, A. L.; MAIA, J. G. S.; RICHARDS, K. M.; TRAN, K.; SMITH, R. E. Phenolic compounds and metals in some edible annonaceae fruits. **Biological trace element research**, v. 197, p. 676-682, 2020.

DENG, L. Z.; PAN, Z.; ZHANG, Q.; LIU, Z. L.; ZHANG, Y.; MENG, J. S.; GAO, Z. J.; XIAO, H. W. Effects of ripening stage on physicochemical properties, drying kinetics, pectin polysaccharides contents and nanostructure of apricots. *Carbohydrate Polymers*, 222, p.114980, 2019.

DE OLIVEIRA, Z. L.; DE SOUZA, P. A.; MOURA, C. F. H.; DA COSTA, F. B.; DA SILVA FREITAS, R. V.; BATISTA, E. M.; REGIS, A. A.; REGES, S. C. N. Armazenamento refrigerado de atemoia 'Gefner' em atmosfera modificada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e367101118095-e367101118095, 2021.

ETEMADIPOOR, R.; RAMEZANIAN, A.; DASTJERDI, A. M.; SHAMILI, M. The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 251, p. 101-107, 2019.

FARCUH, M., COPES, B.; LE-NAVENEC, G.; MARROQUIN, J.; CANTU, D. BRADFORD, K. J.; GUINARD, J. X.; DEYNZE, A. V. Sensory, physicochemical and volatile compound analysis of short and long shelf-life melon (*Cucumis melo* L.) genotypes at harvest and after postharvest storage. **Food Chemistry: X**, v. 8, p. 100107, 2020.

GAN, S. S. Recent progresses in molecular postharvest biology. **Molecular Horticulture**, v. 2, n. 1, p. 1-3, 2022.

GONDIM, P.J S; SILVA, S.M.; PEREIRA, W.E.; DANTAS, A.L.; CHAVES NETO, J.R.; SANTOS, L.F. Qualidade de frutos de acessos de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1217-2021, 2013.

GONG, X.; WU, X.; QI, N.; LI, J.; ZHANG, H.; HUO, Y. Changes in the biochemical characteristics and volatile fingerprints of atemoya during postharvest ripening at room temperature. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 12, n. 4, p. 26-35, 2020.

HE, M.; GE, Z.; HONG, M.; HONGXIA, Q.; DUAN, X.; ZE, Y.; LI, T; JIANG, Y. Alleviation of pericarp browning in harvested litchi fruit by synephrine hydrochloride in relation to membrane lipids metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111223, 2020.

HE, M.; WU, Y.; HONG, M.; YUN, Z.; LI, T.; JIANG, Y. α -Lipoic acid treatment alleviates postharvest pericarp browning of litchi fruit by regulating antioxidant ability and energy metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 180, p. 111629, 2021.

HOU, C. Y.; HAZEENA, S. H.; LI, P. X.; HSIEH, S. L.; HSIEH, C. W.; CHEN, M. H.; SHIH, M. K.; YU, M. C.; LIANG, Y. S. Postharvest quality and prolong storage time of atemoya (*Annona squamosa* x *A. cherimola* hybrids) fruit: coating with D-limonene

nanoemulsion edible film. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p. 1098-1113, 2023.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1.ed. 2008, p.1020.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

LI, D.; LIMWACHIRANON, J.; LI, L.; DU, R.; LUO, Z. Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit. **Food chemistry**, v. 208, p. 272-278, 2016.

LI, H.; LI, W.; ZHANG, T.; ZHONG, J.; LIU, J.; YUAN, C.; LIU, K. Comparative transcriptomic analysis of split and non-split atemoya (*Annona cherimola* Mill. × *Annona squamosa* L.) fruit to identify potential genes involved in the fruit splitting process. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 216-224, 2019.

LI, J.; LUO, M.; ZHOU, X.; ZHOU, Q.; WEI, B.; CHENG, S.; JI, S. Polyamine treatment ameliorates pericarp browning in cold-stored ‘Nanguo’ pears by protecting mitochondrial structure and function. **Postharvest Biology and Technology**, v. 178, p. 111553, 2021.

LIMA, M. A. C.; ALVES, R. E.; BISCEGLI, C. I.; FILGUEIRAS, H. A. C.; COCOZZA, F. D. M. Conservação de melões Gália ‘Solar King’ tratados com 1-metilciclopropeno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 121 – 126, 2004.

LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, H.; LIN, M.; LI, H.; YUAN, F.; CHEN, Y.; XIAO, J. Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. **Food chemistry**, v. 264, p. 1-8, 2018.

LIU, K.; LI, H.; YUAN, C.; HUANG, Y.; CHEN, Y.; LIU, J. Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. **Scientia Horticulturae**, v. 181, p. 76-80, 2015.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, 426-428, 1959.

MINOLTA C. **Precise Color Communication: Color Control from Feeling to Instrumentation**. Osaka: MINOLTA Corp. Ltda., 2007.

MOURA, E. A. D.; CHAGAS, P. C.; OLIVEIRA, R. R.; TAVEIRA, D. L. L.; GRIGIO, M. L.; ARAÚJO, W. F. Determination of the harvest time of sugar apples (*Annona squamosa* L.) in function of carpel interspace. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2020.

PADMANABHAN, P.; PALIYATH, G. **Annonaceous Fruits**. In *Encyclopedia of Food and Health*; Caballero, B., Finglas, P. Toldrá, F., Eds.; Academic Press: Oxford, 2016; p. 169–173.

PAREEK, S.; YAHIA, E. M.; PAREEK, O. P.; KAUSHIK, R. A. Postharvest physiology and technology of Annona fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1741-1751, 2011.

PEREIRA, M. C. T.; NIETSCHE, S.; SÃO JOSÉ, A. R.; LEMOS, E. E. P.; MIZUBUTSI, G.; CORSATO, C. F.; ALVARENGA, C. D. Anonáceas: Pinha (*Annona squamosa* L.), Atemóia (*Annona squamosa* x *Annona cherimola* Mill.) e graviola (*Annona muricata*). **TJ PAULA-JUNIOR And M. VENZON, eds**, v. 101, p. 111-123, 2019.

PINTO, L.K.A.; MARTINS, M.L.L.; RESENDE, E.D.; THIÈBAUT, J.T.L. Atividade da pectina metilesterase e da β -galactosidase durante o amadurecimento do mamão cv. Golden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 713-722, 2011.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA, 2021. URL <http://www.rstudio.com/>. Accessed 10 Jan 2023.

SANCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURA-CALIXTO, F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal Science Food agriculture**, v. 76, p. 270-276, 1998.

SANTOS, W. N. D.; SAUTHIER, M. C. S.; CAVALCANTE, D. D.; BENEVIDES, C. M.; DIAS, F. S.; SANTOS, D. C. Mineral composition, nutritional properties, total phenolics and flavonoids compounds of the atemoya fruit (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.) and evaluation using multivariate analysis techniques. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 1243-1252, 2016.

SANTOS, J.M.S.M.; FIGUEIREDO, S.N.; RAMOS, V.C.; SANTANA, S.F.; CERQUEIRA, R.M.S.; SILVA, J.M.; OLIVEIRA JÚNIOR, L.F.G.; FREITAS, M.I. Qualidade pós-colheita de duas variedades de tomates. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Rio Largo, v. 3, n. 1, p. 6550, 2018.

SOUSA, F.C.; SOUSA, E.P.; CRUZ, C.S.A.; GOMES, J.P.; ALMEIDA, F.A.C. parâmetros físicos e físico-químicos da atemóia 'Gefner' em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 329-334, 2013.

WANG, D; SEYMOUR, G. B. Molecular and biochemical basis of softening in tomato. **Molecular Horticulture**, v. 2, n. 1, p. 5, 2022.

YANG, W.; ZENG, H.; ZOU, M.; CHAOZHONG, L. U. An overview of the roles of cell wall modification in fruit pericarp cracking. **Chin. J. Trop. Crops**, v. 32, p. 1995-1999, 2011.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, London, v.57, p. 508-514, 1954.

ZHANG, Z.; HUBER, D. J.; QU, H.; YUN, Z. E.; WANG, H.; HUANG, Z.; HUANG, H.; JIANG, Y. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. **Food Chemistry**, v. 171, p. 191-199, 2015.

ZHANG, L.; CHEN, F.; LAI, S.; WANG, H.; YANG, H. Impact of soybean protein isolate-chitosan edible coating on the softening of apricot fruit during storage. **Lwt**, v. 96, p. 604-611, 2018.

ZHANG, W.; JIANG, H.; CAO, J.; JIANG, W. Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 355-365, 2021a.

ZHANG, W.; JIANG, H.; CAO, J.; JIANG, W. UV-C treatment controls brown rot in postharvest nectarine by regulating ROS metabolism and anthocyanin synthesis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 180, p. 111613, 2021b.

ZHANG, L.; HUANG, C.; ZHAO, Y.; ZHENG, C.; HU, C. Post-ripening and senescence behavior of atemoya (*Annona cherimola* × *A. squamosa*) under two typical storage temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 200, p. 112336, 2023a.

ZHANG, W.; PAN, Y.; JIANG, Y.; ZHANG, Z. Advances in control technologies and mechanisms to treat peel browning in postharvest fruit. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 311, p. 111798, 2023b.

ZHENG, S.; WANG, X.; WANG, Z. The analysis of cell wall degrading enzymes in ripening blueberry pulp in different post-harvest temperature. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 052065.

ZHU, F.; WEN, W.; CHENG, Y.; FERNIE, A. R. The metabolic changes that effect fruit quality during tomato fruit ripening. **Molecular Horticulture**, v. 2, n. 1, p. 2, 2022.

CAPÍTULO II

EFEITO DO CÁLCIO E DO ÁCIDO GIBERÉLICO NA QUALIDADE E CONSERVAÇÃO DE ATEMOIA ‘GEFNER’ CULTIVADA NO SEMIÁRIDO

RESUMO

A atemoia é um fruto climatérico e muito perecível, pois tem uma alta taxa respiratória, sendo seu metabolismo bastante acelerado e atingindo logo a senescência. Ainda tem-se observado o aparecimento de rachaduras durante o processo de amadurecimento que tem limitado sua vida útil e comercialização. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do ácido giberélico e do cálcio na redução de rachaduras e conservação dos frutos de atemoia armazenados sob refrigeração e cultivados sob condições semiáridas. A aplicações do cálcio e ácido giberélico ocorreu aos 7, 27, 47, 67 e 87 dias após a polinização manual em um pomar comercial. Foram coletados uma amostra homogênea dos frutos de cada tratamento aos 121 dias após a polinização (DAP). Os frutos foram sanitizados na solução de hipoclorito de sódio (0,1%) por 5 minutos. O delineamento usado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x6, sendo quatro tratamentos: controle, Cálcio (Ca), Ácido Giberélico (GA3) e Cálcio + Ácido Giberélico (Ca+GA3); e seis tempos de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias) refrigerado ($15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR), com cinco repetições. Os frutos foram submetidos as seguintes avaliações: aparência, massa, perda de massa fresca, índice de rachadura, firmeza do fruto, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, vitamina C, clorofila, extravasamento de eletrólitos, açúcares totais, amido, atividade antioxidante DPPH, Polifenóis Extraíveis Totais, atividade das enzimas Peroxidase e Polifenoloxidase, e quantificação de minerais. Os resultados encontrados no presente trabalho mostraram que os frutos tratados com Ca e Ca+GA3 promoveram características positivas na redução das rachaduras. Enquanto que os frutos tratados com Ca+GA3 além de reduzirem as rachaduras, aumentaram os conteúdos de substâncias antioxidantes não enzimáticas como compostos fenólicos, vitamina C e clorofila, que tiveram efeito no retardo da senescência, onde foi observado um menor extravasamento de eletrólitos. Ainda, os frutos armazenados sob refrigeração ($15 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR) mantiveram aptos para o consumo até doze dias, independente do tratamento.

Palavras-chave: Armazenamento. Rachadura de fruto. Fitohormônios. Antioxidantes.

CHAPTER II

THE EFFECT OF CALCIUM AND GIBBERELIC ACID ON THE QUALITY AND CONSERVATION OF 'GEFNER' ATEMOIA GROWN IN THE SEMIARID REGION

ABSTRACT

The atemoia is a climacteric fruit and very perishable, as it has a high respiratory rate, its metabolism being quite accelerated and reaching senescence soon. It has also been observed the appearance of cracks during the ripening process that has limited its shelf life and commercialization. Therefore, the objective of this work is to evaluate the effect of gibberellic acid and calcium on the reduction of cracks and conservation of atemoia fruits stored under refrigeration and grown under semi-arid conditions. The applications of calcium and gibberellic acid occurred at 7, 27, 47, 67 and 87 days after manual pollination in a commercial orchard. A homogeneous sample of fruits from each treatment was collected at 121 days after pollination (DAP). The fruits were sanitized in sodium hypochlorite solution (0.1%) for 5 minutes. The design used was completely randomized (DIC) in a 4x6 factorial scheme, with four treatments: control, Calcium (Ca), Gibberellic Acid (GA3) and Calcium + Gibberellic Acid (Ca+GA3); and six storage times (0, 3, 6, 9, 12 and 15 days) refrigerated ($15 \pm 2^\circ\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH), with five replications. The fruits were submitted to the following evaluations: appearance, mass, fresh mass loss, cracking index, fruit firmness, pH, titratable acidity, soluble solids, vitamin C, chlorophyll, electrolyte leakage, total sugars, starch, DPPH antioxidant activity, Total Extractable Polyphenols, Peroxidase and Polyphenoloxidase enzyme activity, and mineral quantification. The results found in the present work showed that the fruits treated with Ca and Ca+GA3 promoted positive characteristics in reducing cracks. While the fruits treated with Ca+GA3 besides reducing cracks, increased the contents of non-enzymatic antioxidant substances such as phenolic compounds, vitamin C and chlorophyll, which had an effect on delaying senescence, where a lower electrolyte leakage was observed. In addition, the fruits stored under refrigeration ($15 \pm 2^\circ\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH) remained fit for consumption up to twelve days, regardless of the treatment.

Keywords: Storage. Fruit cracking. Phytohormones. Antioxidants.

1 INTRODUÇÃO

A atemoia é uma anonácea obtida através do cruzamento entre a pinha ou fruta do conde (*Annona squamosa* L.) e a cherimoia (*Annona cherimola* Mill.), duas espécies distintas. Essa união gerou um fruto que apresenta características desejáveis de ambas as plantas (Santos *et al.*, 2016). Devido essas características este fruto está sendo muito apreciada pelos consumidores e isto deve-se à sua polpa deliciosa e aromática, suas excelentes propriedades organolépticas e seu alto valor nutricional (Zhang *et al.*, 2023).

Esta anonácea é um fruto climatérico e apresenta um curto período de vida útil, pois tem uma alta taxa de respiração, sendo seu metabolismo bastante acelerado e atingindo logo a senescência (Cordeiro *et al.*, 2013). Normalmente, a colheita ocorre antes de amadurecer totalmente, no ponto de maturação fisiológica, visando ter um maior tempo para comercialização. O amadurecimento da fruta envolve uma série de mudanças físico-químicas e estruturais, tais alterações incluem o amolecimento, a conversão do amido em açúcar, a síntese de compostos aromáticos e a modificação da coloração (Chen *et al.*, 2019).

No entanto, durante o processo de amadurecimento do fruto da atemoia tem um grande problema, a ocorrência de divisão ou rachaduras próxima ao pedúnculo fora da base do fruto, e aparecem na forma de fraturas na cutícula. Essas rachaduras em frutos é um grande entrave que leva a perdas na produtividade e no valor comercial da atemoia durante o período pós-colheita (Pareek *et al.*, 2011).

Pesquisas recentes evidenciaram uma conexão significativa entre os fitohormônios e o processo de rachaduras dos frutos, capacidade de aumentar a flexibilidade da parede celular e expandir a expansão da casca dos frutos (Khalil; Aly, 2013; Ozturk *et al.*, 2018). A giberelina tem sido amplamente empregada em diversas culturas com o intuito de aumentar a taxa de frutificação e controlar a divisão dos frutos, como também apresenta potencialidade na diminuição da ocorrência de rachaduras em frutas como romã, cereja doce e maçã (Hosein-Beigi *et al.*, 2019).

A giberelina é um reguladores de crescimento com um papel fundamental em vários processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. Na agricultura comercial, a giberelina tem sido amplamente utilizado para maximizar o tamanho e a qualidade das frutas, estimulando o crescimento celular por meio da divisão e alongamento das células (Zhang *et al.*, 2016; Gundogdu *et al.*, 2017).

O estado nutricional das plantas é outro fator que pode contribuir para seu crescimento, produtividade e qualidade dos frutos não sejam afetados, um exemplo é o cálcio,

que desempenha um papel crucial como sinalizador na regulação de enzimas no citosol, além de exercer um efeito significativo no controle de distúrbios fisiológicos e na manutenção da qualidade do fruto (Taiz; Zeiger, 2017).

Portanto, a rachadura é um fator limitante na qualidade de frutos de atemoia. Este distúrbio fisiológico reduz a comercialização, limita aceitação do produto pelo consumidor, como também favorece a entrada de patógenos. Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do ácido giberélico e do cálcio na qualidade e redução de rachaduras dos frutos de atemoia armazenados sob refrigeração e cultivados sob condições semiáridas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no pomar comercial da fazenda Dani Frutas, localizada no Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil (5° 08' 38.0" S e 37° 59' 43.8" W), região semiárida. Inicialmente efetuou-se análise de solo (tabela 1) e do tecido vegetal (tabela 2). Após as análises, foi executada a aplicação de cálcio 2 mL/L (LIGOPLEX Ca, 10,1% Cálcio e 2,1% Nitrogênio), ácido giberélico 100 ppm/L (ProGibb® 400, 40% de ácido giberélico) e cálcio com ácido giberélico, estas aplicações ocorreram aos 7, 27, 47, 67 e 87 dias após a polinização (DAP) (figura 1). Aos 121 DAP coletou-se amostras homogêneas dos frutos de cada tratamento. Estes frutos foram levados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró - RN. Os mesmos foram sanitizados na solução de hipoclorito de sódio (0,1%) por 5 minutos.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área do pomar de atemoia cv. Gefner, na fazenda Dani Frutas, Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil, 2022.

Análises Química do solo								
pH	CTC	K	Ca	Mg	Al ⁺³	H+Al ⁺³	Na	
				----- mmolc/dm ³ -----				
6,4		6,4	58	33	0	14	2,6	
V%	M.O.	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		----- mg/dm ³ -----						
%	g/dm ³							
88	16	72	7	8	12,8	1,8	2,5	1,66

*pH: Potencial hidrogeniônico; CTC: Capacidade de troca de cátions; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al⁺³: alumínio; H+Al⁺³: Acidez Potencial; Na: Sódio; V%: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica; P: Fósforo; S: Enxofre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Cu: Cobre; Zn: Zinco; B: Boro.

Tabela 2. Caracterização química do tecido vegetal de plantas de atemoia cv. Gefner, na fazenda Dani Frutas, Projeto Jaguaribe-Apodi, zona rural de Limoeiro do Norte-CE, Brasil, 2022.

Análises Química do tecido vegetal												
N	P	K	Ca	Mg	S	Al ⁺³	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	B
g/kg						mg/kg						
31,47	1,25	11	27,25	3,48	3,25	405	225	69,5	100	34	183,5	198,56

*N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; Al⁺³: Alumínio; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Cu: Cobre; Zn: Zinco; Na: Sódio; B: Boro.

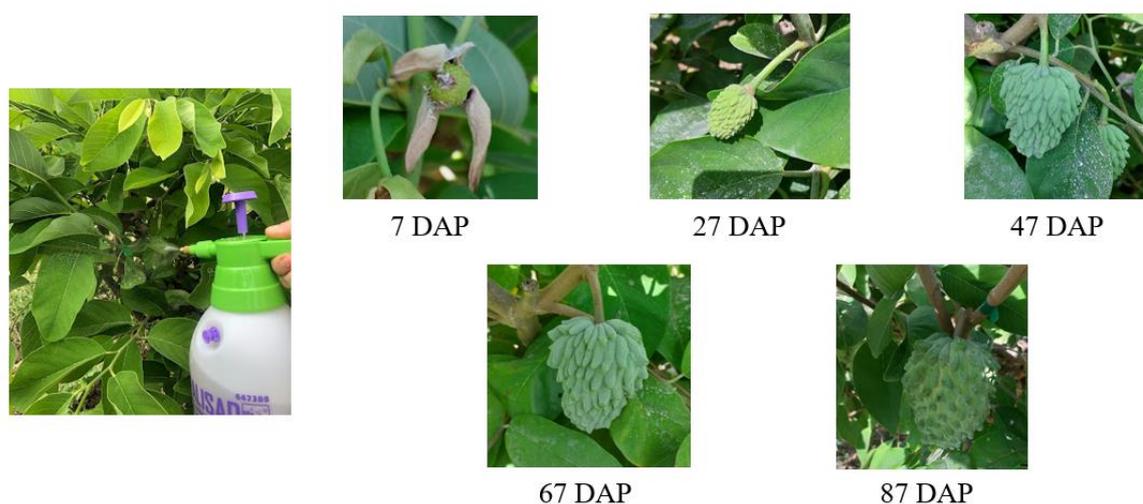


Figura 1. Aplicações de Cálcio (Ca) e Ácido Giberélico (GA3) aos 7, 27, 47, 67 e 87 dias após a polinização (DAP).

O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x6. Sendo quatro tratamentos: controle, Cálcio (Ca), Ácido Giberélico (GA3) e Cálcio + Ácido Giberélico (Ca+GA3); e seis tempos de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias) com 5 repetições, a unidade experimental foi representada por um fruto. Em seguida, os frutos foram armazenados em câmara fria a uma temperatura de $15\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $85\pm 5\%$. Em cada tempo de armazenamento foram realizadas as seguintes avaliações: aparência do fruto e polpa, peso, perda de massa fresca (PMF), índice de rachadura, firmeza do fruto, pH, acidez titulável (AT), sólidos solúveis Totais (SST), vitamina C, clorofila, extravasamento de eletrólitos (EE), açúcares totais (AT), amido, atividade antioxidante DPPH, Polifenóis Extraíveis Totais (PET), atividade das enzimas Peroxidase (POD) e Polifenoloxidase (PPO), e quantificação de minerais (cálcio, magnésio, sódio e potássio).

2.1 Aparência dos frutos

A aparência dos frutos foi avaliada em uma escala subjetiva de 5 a 1, considerando a presença de depressões, murcha, ataque de patógenos e manchas escuras. Os frutos receberam uma classificação de acordo com essa escala: nota 5 indicando a ausência dessas

características indesejáveis; nota 4 para traços leves; nota 3 para presença leve; nota 2 para intensidade média com leve ataque de microrganismos e nota 1 para intensidade severa com ataque de microrganismos. Frutos com nota igual ou menor que 3 foram considerados inadequados para a comercialização (Lima *et al.*, 2004).

2.2 Massa e Perda de Massa Fresca (PMF)

A massa fresca dos frutos foi determinada com auxílio de uma balança semi-analítica, e o resultado foi expresso em gramas (g), o cálculo da perda de massa fresca expressa em porcentagem.

Em que: $PMF (\%) = ((M_i - M_d) / M_i) * 100$

PMF% = Perda de massa; M_i = Massa inicial (g); M_d = Massa do fruto no dia da análise (g);

2.3 Índice de Rachadura

Todos os frutos de cada tratamentos afetados com o surgimento de rachaduras foram contados durante o tempo de armazenamento (Barbosa *et al.*, 2011).

2.4 Cor da casca e polpa

A cor da casca e da polpa foi determinada com auxílio de colorímetro digital de bancada. Foram realizadas duas leituras em pontos equidistantes em cada fruto e os resultados foram expressos de acordo com as coordenadas CIE lab, que incluem as variáveis L^* (luminosidade), a^* (variação entre as cores verde e vermelho) e b^* (variação entre as cores azul e amarela) (Minolta, 2007). Os valores de a^* e b^* foram convertidos em ângulo Hue (tonalidade) (1) e Croma (saturação) (2), que são as variáveis que melhor representam a evolução da cor da casca da atemoia durante o processo de amadurecimento, conforme equações 1 e 2.

$$H^\circ = 180^\circ + \arctg (b^* / a^*) \quad (1); \quad C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

2.5 Firmeza

A firmeza dos frutos foi determinada utilizando-se o texturômetro Texture Analyser®, modelo TA.XTExpress/TA.XT2icon (Stable Micro Systems Ltd). Utilizou-se ponteira cilíndrica de 5 mm. Em cada fruto, foram realizadas duas leituras, na região equatorial e em pontos equidistantes. O resultado foi expresso em Newton (N).

2.6 pH

Para a realização da leitura foi pesado 5 g de polpa e adicionou 50 mL de água destilada e foi determinado com auxílio de potenciômetro de leitura direta, devidamente padronizado com soluções tampão. Após a estabilização dos resultados expressos no painel do equipamento, os dados mensurados foram expressos em valores reais de pH (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

2.7 Acidez Titulável (AT)

A acidez titulável (AT) foi determinada por titulação volumétrica com solução de NaOH (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Aproximadamente 1 g da polpa foram diluídos em 49 mL de água destilada e acrescidos de três gotas do indicador fenolftaleína a 1%. Essa mistura foi titulada lentamente com solução de NaOH 0,01 M, Os resultados foram expressos em miliequivalente (meq) por 100 de polpa.

2.8 Sólidos Solúveis (SS)

O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado com o auxílio de um refratômetro digital, com correção automática de temperatura de acordo com metodologia recomendada por AOAC (2002), e os resultados foram expressos em porcentagem (°Brix).

2.9 Vitamina C

A vitamina C foi determinada por titulometria com solução Tilman (DFI – 2,6 diclorofenol-indofenol a 0,02%), tomando-se 1 g das amostras e diluindo para balão volumétrico de 50 mL com ácido oxálico 0,5% (Instituto Adolfo Lutz, 2008), os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de polpa.

2.10 Clorofila

Para determinação da clorofila A e B foram pesadas 0,8 g de massa fresca (MF) da casca dos frutos, solubilizadas com 15 mL em acetona a 80%. Os tubos foram armazenados em ambiente na ausência de luz por 48 horas, realizou-se leituras espectrofotométricas nos comprimentos de onda 647 e 663 nm para clorofila a e b, conforme metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001). A estimativa das concentrações de clorofila foi realizada pelas seguintes relações, determinadas em mg.g⁻¹. Em que:

$$\text{MF, Chla} = [(12.25 \times A_{663} - 2.79 \times A_{647})]; \text{Chlb} = [(21.5 \times A_{647} - 5.10 \times A_{663})]$$

MF= Massa fresca, Chla= Clorofila a, Chlb= Clorofila b

2.11 Extravasamento de eletrólitos

A porcentagem de extravasamento de eletrólitos foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Azevedo *et al.* (2008) foram retirados 8 discos de 8 mm e incubados com água destilada por 24 horas. A condutividade elétrica inicial foi medida usando um condutivímetro. Em seguida, os discos foram submetidos ao banho-maria por uma hora, deixou esfriar e realizou a condutividade elétrica final e calculou-se o resultado do extravasamento de eletrólito de acordo com a equação. Em que:

$$EE(\%) = (CEI / CEF) * 100$$

EE (%)= Extravasamento de eletrólitos; CEI= Condutividade elétrica inicial; CEF= Condutividade elétrica final

2.12 Açúcares Totais

Os Açúcares totais foram determinados pelo método de Antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno), conforme Yemn e Willis (1954), a partir de 1 g das amostras diluídas em balão volumétrico de 100 mL de álcool 80%, retirou-se 10 mL da solução para outro balão de 100 mL e completou o volume com água destilada. Depois, foi tomada uma alíquota para realizar a análise; a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm, e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

2.13 Amido

Para a quantificação amido a metodologia utilizada foi descrita pela Association of Office Analytical Chemistry – AOAC (2002) e por Miller (1959). A quantificação foi determinada pelo o método DNS (3,5 - Dinitro – Salicílico, Sigma). O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro, a leitura realizada a 540 nm, os resultados expressos em porcentagem (%).

2.14 Atividade Antioxidante DPPH

A atividade antioxidante total foi avaliada usando o método do radical DPPH conforme descrito por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) e modificada por Sánchez-Moreno; Larrauri; Saura-Calixto (1998). A extração do antioxidante foi realizada adicionando 2 g da amostra (polpa) a 10 mL de metanol 50% em um tubo de 50 mL, seguido de homogeneização e repouso por 60 minutos. A leitura da absorbância foi realizada a 515 nm

usando um espectrofotômetro. Todas as análises foram feitas em triplicata, com um controle utilizado como referência, os resultados foram expressos em % sequestro.

2.15 Polifenóis Extraíveis Totais (PET)

Os extratos para determinação dos polifenóis extraíveis totais (PET) através do reagente de Folin-Ciocalteu, utilizando o ácido gálico como padrão. Para obtenção do Extrato foram utilizados 2 g de polpa, submetidos a extração e dois solventes, metanol 50% e acetona 70% conforme é descrito por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997) com algumas modificações. Foram realizadas com absorvância 700 nm em espectrofotômetro, os resultados foram expressos como mg.100 g⁻¹ de polpa.

2.16 Atividade da Enzima Peroxidase (POD)

A extração e determinação da enzima peroxidase (POD) foi feita de acordo com adaptações no método de Bezerra e Barreto (2011). O extrato foi filtrado e pipetado com 25 µL guaiacol (0,2 M), 250 µL de peróxido de hidrogênio (0,38 M), 1 mL do tampão de fosfato de sódio (0,2 M, pH 6,0) e 25 µL do extrato. A leitura foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 470 nm, sendo que as leituras iniciou-se após 3 minutos após iniciar a atividade da enzima, os resultados foram representados em POD, UE/min/mg⁻¹ de amostra.

2.17 Atividade da Enzima Polifenoloxidase (PPO)

A extração e determinação da enzima polifenoloxidase (PPO) foi realizada de acordo com o método de Campos *et al.* (2004) e adaptações. A leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 395 nm, os resultados expressos em UE/ mg⁻¹ de amostra.

2.18 Minerais: Cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K)

Para a decomposição das amostras em forno micro-ondas pesou-se 0,5 g da amostra seca em estufa a 65°C e moídas. As mesmas foram transferidas para os frascos de teflon, adicionando 5 mL de ácido nítrico (HNO₃). Introduziu os tubos no forno micro-ondas aquecido a 170°C, deixou esfriar completamente e completou o volume para 25 mL com água deionizada (Silva, 2009). A leitura de Ca e Mg foi realizada por espectrometria de absorvância atômica e o Na e K no fotômetro de chamas, os resultados foram dados em g/kg.

2.19 Análise estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$), os dados qualitativo foi submetido ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e os efeitos dos tratamentos quantitativos foram submetidos à regressão polinomial. As análises foram realizadas pelo programa RStudio Versão 4.1.1 (Rstudio Team, 2021). As figuras dos gráficos foram produzidas no programa SigmaPlot 14.0.

3 RESULTADOS

3.1 Aparência dos frutos e Índice de rachadura

Observou-se que os frutos submetidos ao tratamento com ácido giberélico (GA3) exibiram deformações nos seus carpelos. Ao longo do armazenamento dos frutos foi observado uma redução das notas de aparência externa e interna (Figura 2). E durante esse período, ocorreu uma perda de qualidade expressiva sendo que após a colheita apresentavam notas de 4,60; 4,80; 4,20 e 4,80 e ao final do armazenamento (15 dias) diminuiu as notas para 2,80; 2,80; 2,90 e 2,90 (Controle, Ca, GA3 e Ca+GA3, respectivamente), tendo os tratamentos com cálcio e ácido giberélico atingido as melhores notas. A vida útil dos frutos foram em 12 dias, sendo que os frutos com Ca+GA3 apresentavam melhor aparência visual. Esta redução nas notas tem como principal fator o escurecimento da casca e o surgimento de rachaduras. Conseqüentemente, a qualidade dos frutos diminuiu gradualmente, tornando-os inadequados para a comercialização aos 15 dias de armazenamento.

Tratamentos	Aparência dos frutos Armazenamento (Dias)					
	0	3	6	9	12	15
Controle						
Ca						
GA3						

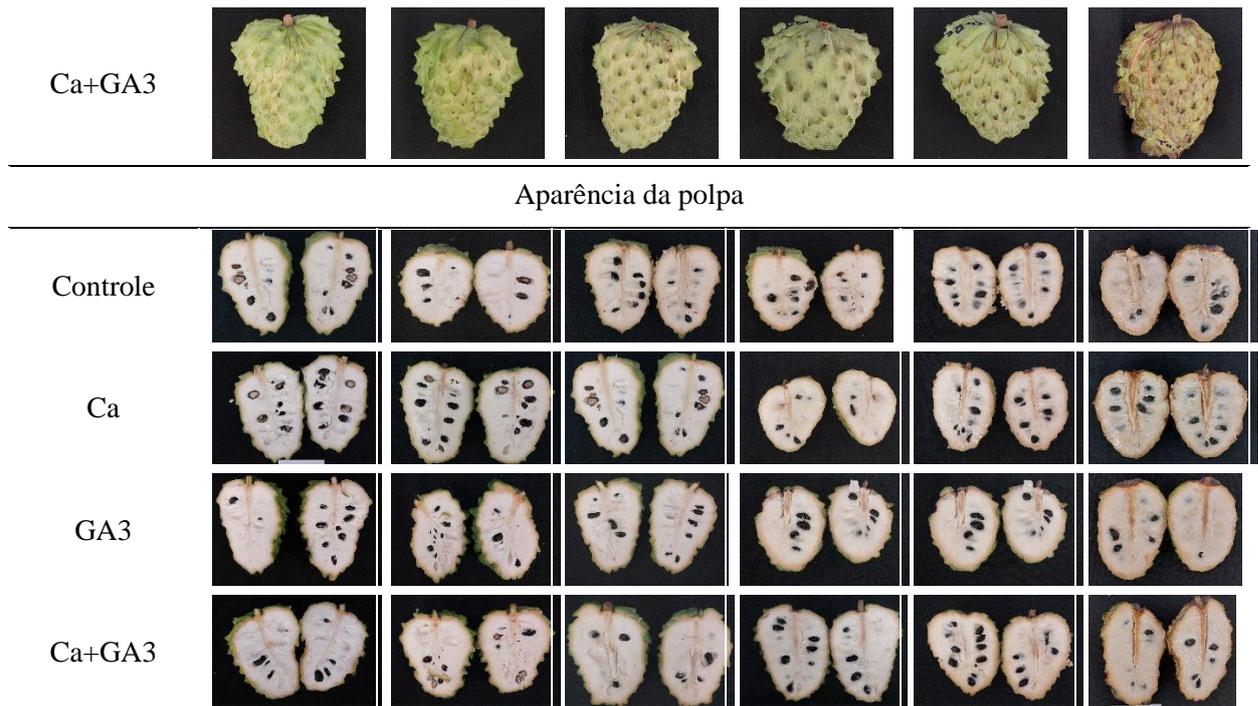


Figura 2. Aparência dos frutos e da polpa atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e 85 ± 5 % UR).

Durante o período de armazenamento dos frutos ocorreu rachadura próximo ao pedúnculo e em sua circunferência (Figura 3), iniciando este distúrbio fisiológico a partir do 6° dia no tratamento com ácido giberélico (GA3) que teve 20% dos frutos afetados, os demais tratamentos apresentaram este distúrbio a partir do 12° dia, com uma porcentagem de 60, 40 e 40% para o controle, cálcio (Ca) e cálcio + ácido giberélico (Ca+GA3), respectivamente. Ao final do tempo de armazenamento (15 dias) todos os frutos estavam rachados. Como é observado na figura 2, aos 15 dias de armazenamento, os tratamentos com Ca e Ca+GA3 apresentaram menor diâmetro nas fissuras, 21,12 e 20,71 mm, respectivamente, quando comparados com o controle e o GA3, que apresentaram médias acima de 22 mm de diâmetro da fissura.

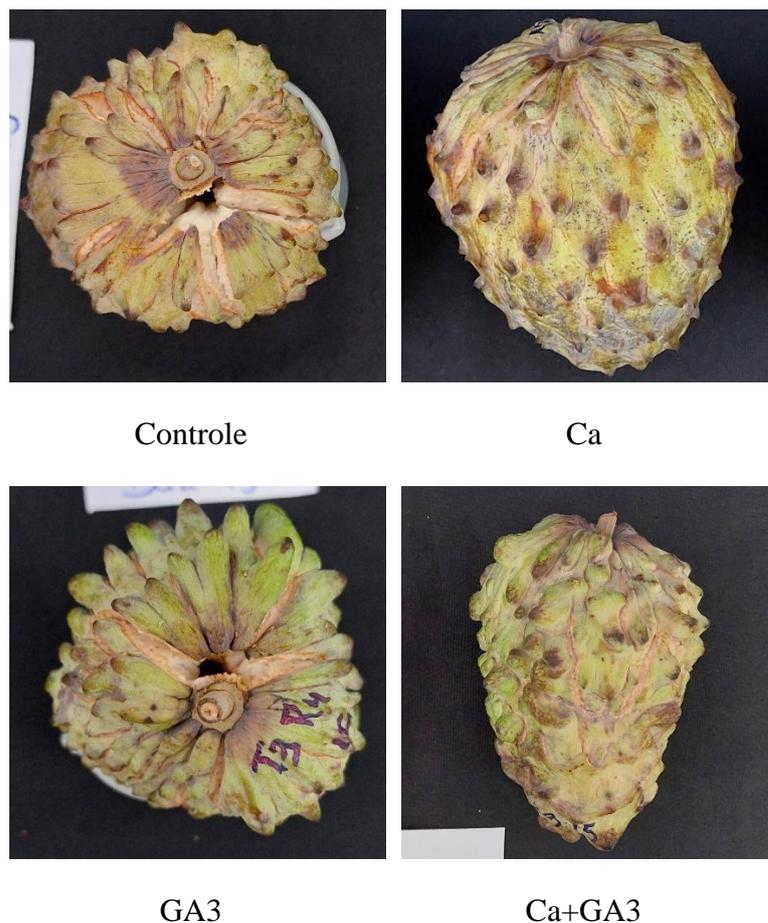


Figura 3. Rachaduras em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e 85 ± 5 % UR).

3.2 Massa (g) e perda de massa fresca (%)

Em todos os tratamentos os frutos apresentaram uma massa superior a 300 g aos 121 DAP (Controle 333,33 g; Ca 323,67 g; GA3 357,17 g e Ca+GA3 362,50 g) período em que os frutos estavam prontos para a colheita. A análise de dados que caracterizam a perda de massa das atemoias ‘Gefner’ tratadas com Ca, GA3, Ca+GA3 e controle avaliadas durante 15 dias de armazenamento, demonstraram uma elevação para este parâmetro durante todo o período de armazenamento (Figura 4). Os frutos apresentaram perda de massa significativa ao final do armazenamento, atingindo 7,99%; 8,38; 8,62 e 8,31% para os frutos do tratamento controle, com Ca, GA3 e Ca+GA3, respectivamente.

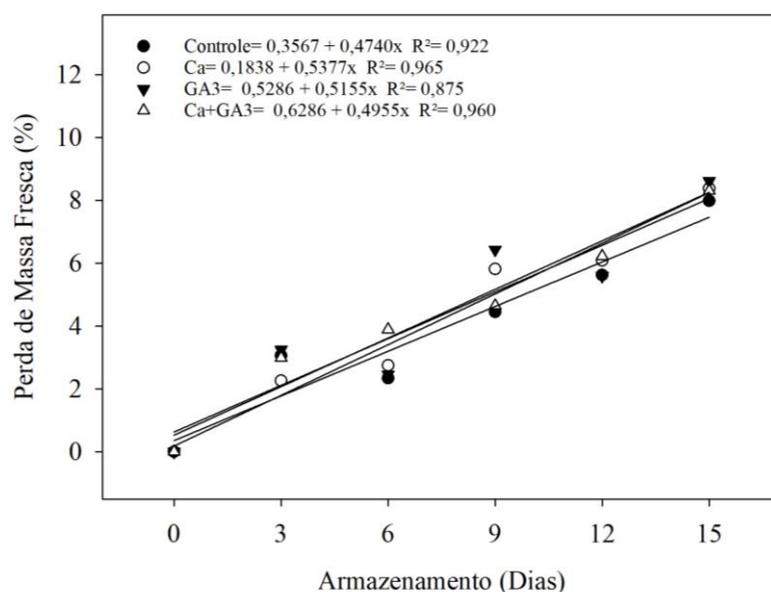


Figura 4. Perda de massa fresca em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

3.3 Firmeza do fruto e da polpa (N)

Inicialmente os frutos de atemoia apresentavam uma firmeza elevada em todos os tratamentos, mas com o tempo de armazenamento observou uma redução (figura 5A), com média de 90 N no dia da colheita e aos 15º dia a firmeza reduziu para valores menores que 5 N. A firmeza da polpa apresentou uma interação polinomial cúbica nos fatores avaliados (tratamentos x armazenamento), como é representado na figura 5B. Entre os quais o tratamento Ca+GA3 apresentou uma menor firmeza da polpa após a colheita, com uma diferença de 9,13 N.

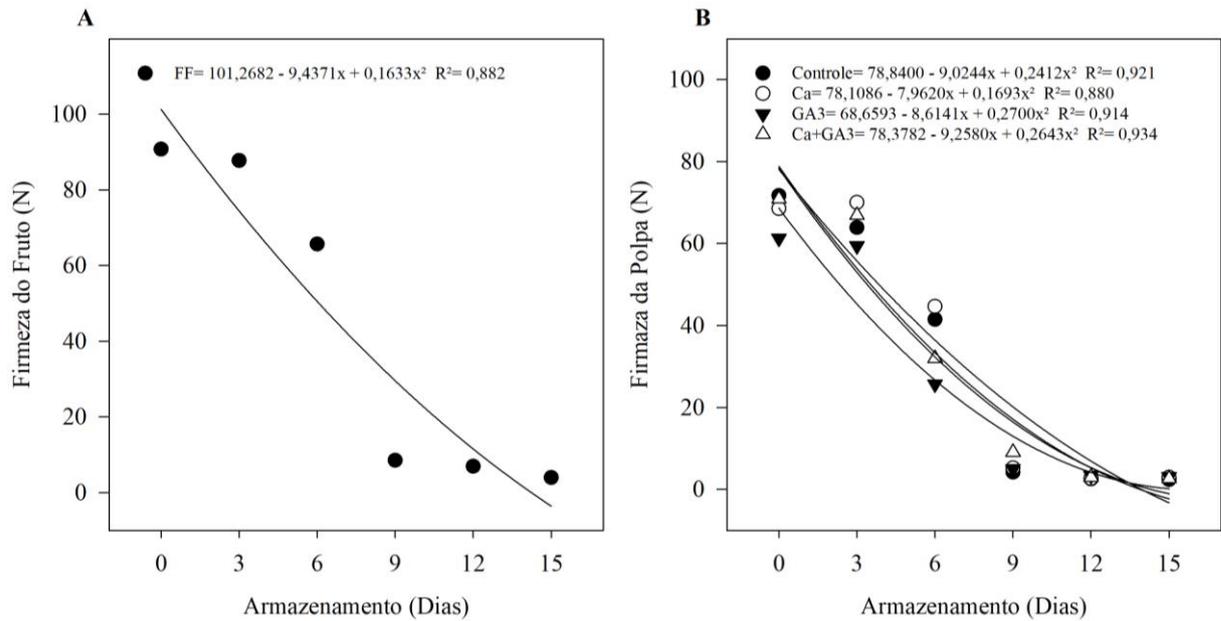


Figura 5. (A) Firmeza do fruto e (B) firmeza da polpa em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

3.4 Cor da casca e da polpa

Nesse caso, notou-se diferença significativa das variáveis de cor: cromaticidade ($p < 0,001$), $^{\circ}$ hue ($p < 0,05$) e luminosidade ($p < 0,001$). Para cromaticidade houve um pequeno aumento da intensidade da cor (figura 6A), isso corresponde a mudança promovida pelo escurecimento do fruto durante o armazenamento. Na figura 6B os valores do $^{\circ}$ hue em todos os tratamentos e aos 15 dias de armazenamento apresentaram o ângulo acima de $178^{\circ} \pm 0,007$.

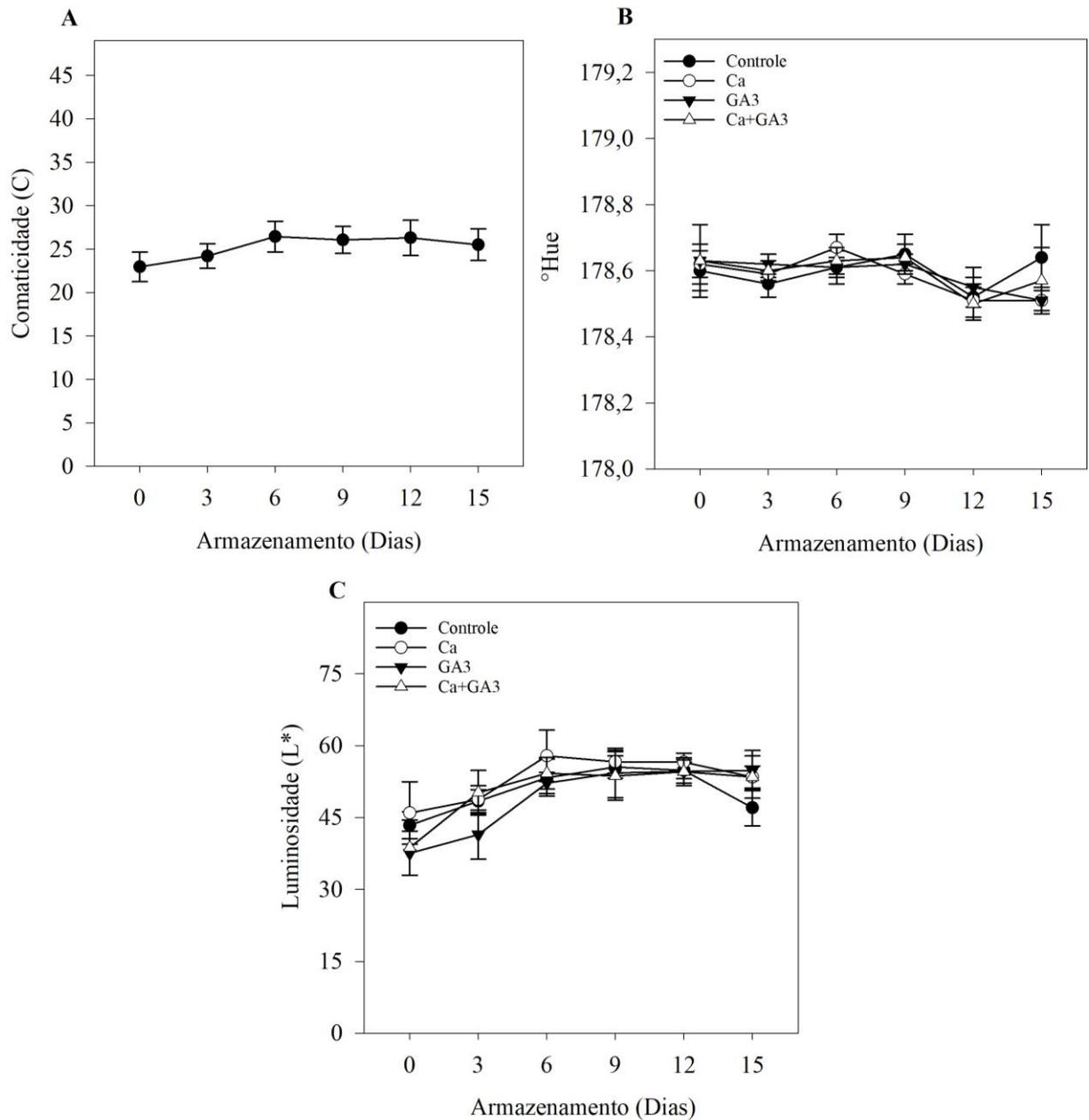


Figura 6. (A) Cromaticidade do fruto C*, (B) ângulo hue °Hue e (C) Luminosidade do fruto L* em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

Os frutos após a colheita tinham uma cera natural, esta camada protetora reduziu o valor inicial da luminosidade e cromaticidade em todos os tratamentos. Observou-se que esta característica foi eliminada durante o período de armazenamento onde houve um aumento até o 12º dia nos tratamentos (Figura 6C). Portanto, valores altos de cromaticidade, °Hue e de luminosidade indicam frutas brilhantes com cores vivas e ângulos de cor uniforme próximos ao verde escuro. Estas características de coloração que os frutos de atemoia foram exibidas até 12º dia.

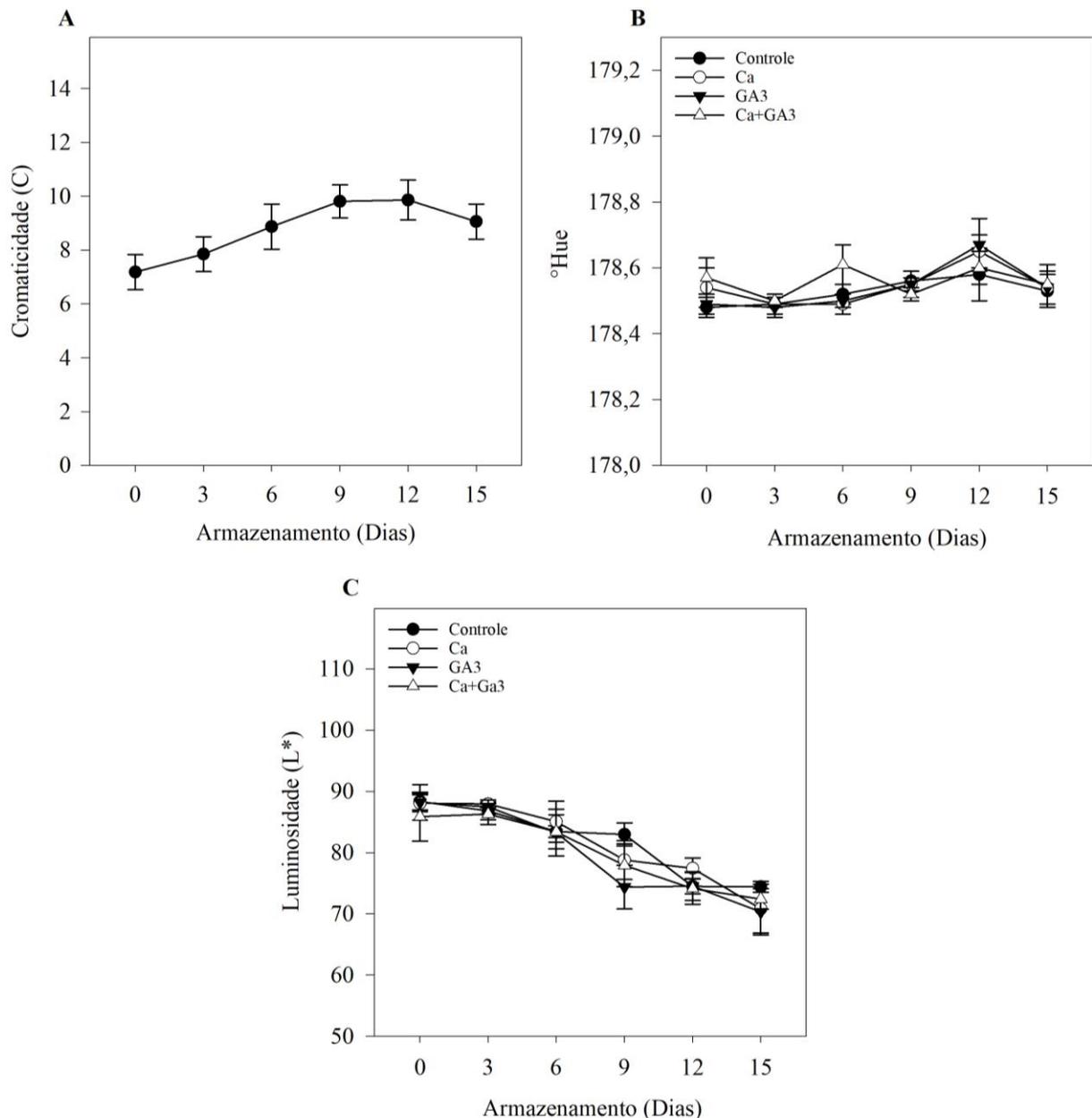


Figura 7. (A) Cromaticidade da polpa C*, (B) ângulo hue da polpa (°Hue) e (C) Luminosidade da polpa L* em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

Observou-se uma elevação nos valores de cromaticidade da polpa até 12º dia, ao final do armazenamento a intensidade da coloração diminui (Figura 7A) indicando que a polpa do fruto apresentava cor branca e conforme o amadurecimento alterou-se para creme (Figura 2). Para o ângulo Hue na polpa houve interação entre os fatores significativa entre os tratamentos e o armazenamento com o ($p < 0,001$), nesta variável exibiu médias de $178,53 \pm 0,05$; $178,55 \pm 0,07$; $178,54 \pm 0,08$ e $178,56 \pm 0,06$ (Controle, Ca, GA3 e Ca+GA3, respectivamente) (Figura 7B). Os valores de luminosidade da polpa (L*) apresentaram interação entre os fatores como mostra a figura 7C, onde houve uma diminuição do brilho conforme o tempo de

armazenamento. As mudanças de luminosidade obtidas na polpa de atemoia apresentaram uma diferença superior a 13,00 L* do dia da colheita até o final de 15 dias de armazenamento. Esta redução do brilho é em decorrência da mudança da cor da polpa.

3.5 Acidez titulável e pH

Houve interação significativa para a acidez titulável ($p < 0,05$), na qual constatou-se que a acidez titulável aumentou gradativamente para todos os tratamentos até o 12º dias de armazenamento (Figura 8A), entre os dias 12 e 15 verificou que o maior incremento na acidez no tratamento Ca+GA3, com uma média equivalente a 7,26 meq.100 mg⁻¹ no 15º dia.

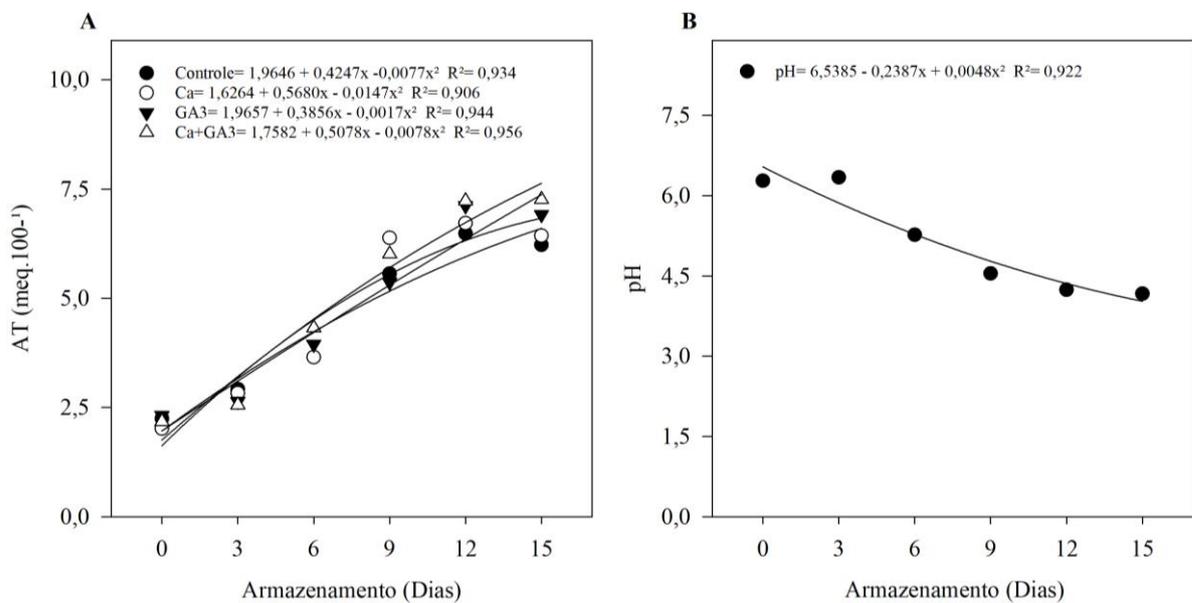


Figura 8. (A) Acidez Titulável (AT), (B) pH em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

O pH foi significativo apenas para o fator armazenamento ($p < 0,001$), onde verificou-se um decréscimo ao longo do armazenamento, no dia da colheita apresentou uma média geral de 6,48, e aos 15 dias apresentou uma média geral de 4,17 (Figura 8B).

3.6 Vitamina C e Sólidos Solúveis

Na figura 9A é representada o teor de vitamina C, que apresentou uma interação entre os tratamentos e o tempo de armazenamento ($p < 0,01$), no qual verificou um pico do teor de vitamina C no 9º e 12º dia em todos os tratamentos com valores superiores a 70 mg.100g⁻¹ de polpa, com ênfase no tratamento Ca+GA3 que apresentou maior teor de vitamina C.

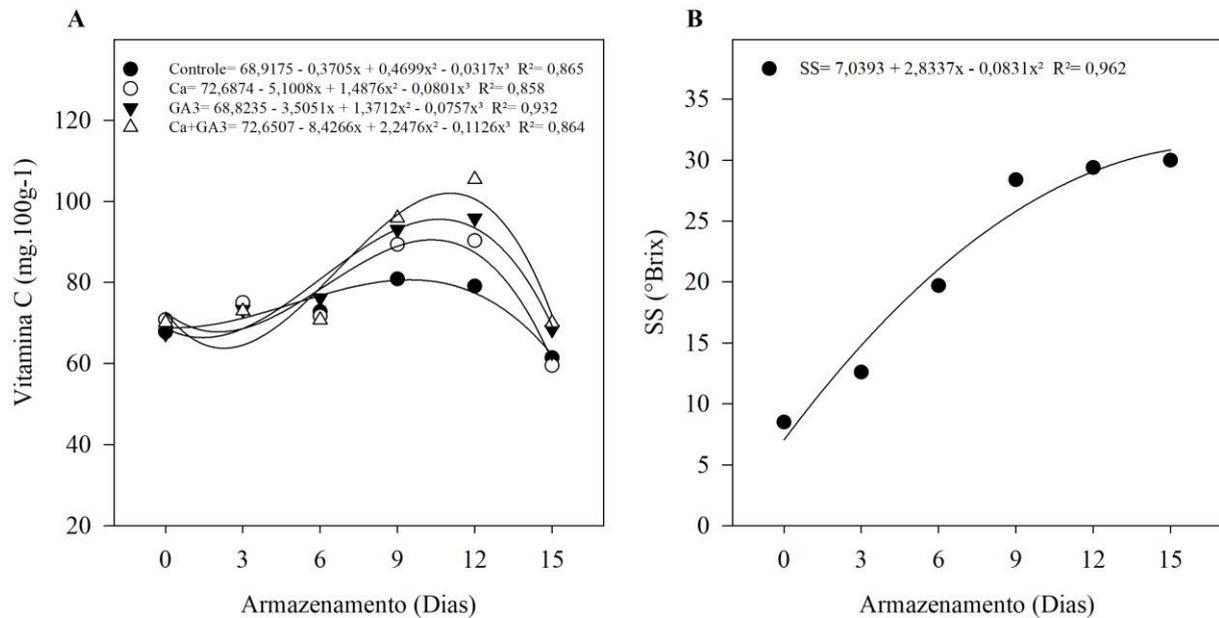


Figura 9. (A) Vitamina C, (B) Sólidos Solúveis Totais (SS) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

Com relação aos sólidos solúveis houve uma diferença significativa entre os tratamentos, onde destacaram-se os frutos com GA3 e Ca+GA3 ($30,15$ e $30,72$ °Brix, respectivamente) com maior teor de Sólidos solúveis (Figura 9B). Enquanto no armazenamento apresentou um aumento significativo de $21,55\%$ de SS ao final do período de armazenamento.

3.7 Amido (%) e Açúcares Totais (%)

A atemoia apresentou uma elevada reserva de amido no dia da colheita que foi transformada em açúcares ao longo do armazenamento (Figuras 10A e B). Para amido houve interação significativa entre os fatores avaliados, onde o tratamento com Ca+GA3 apresentou maior porcentagem de amido no início e no final do armazenamento (Figura 10A). Para açúcares totais uma interação significativa, que apresentou um aumento no teor de açúcares totais acima de 20% do dia da colheita ao final de 15 dias de armazenamento.

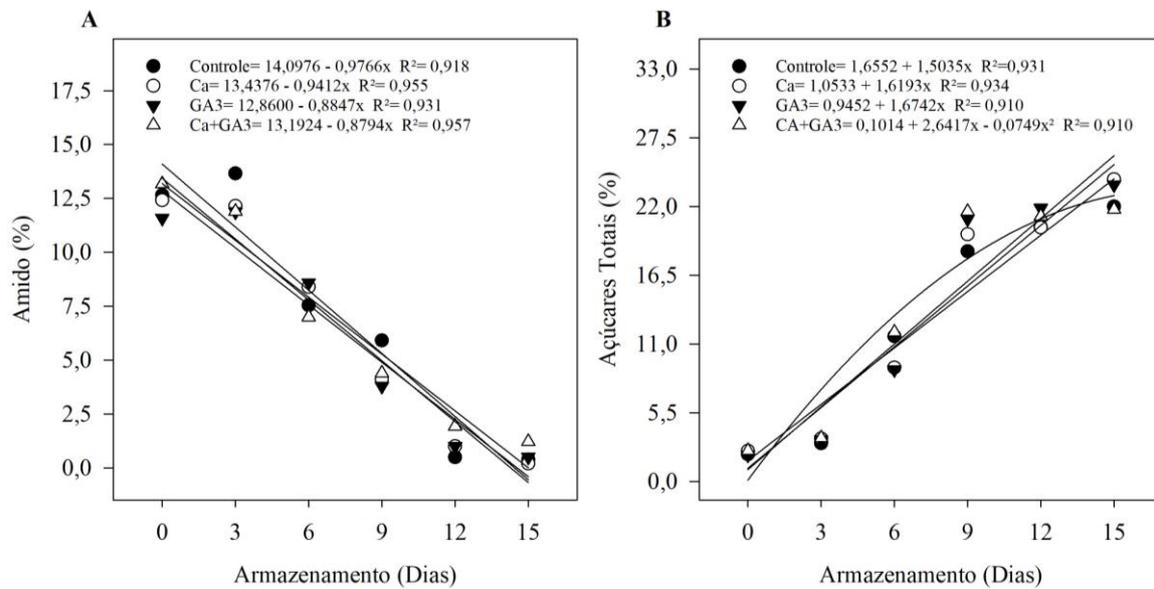


Figura 10. (A) Açúcares Totais, (B) Amido em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR).

3.8 Clorofila total e extravasamento de eletrólitos

Na quantificação de clorofila total os dados mostraram uma diferença significativa ($p < 0,001$) entre os tratamentos (Figura 11A), destacando o tratamento com GA3 ($6,58 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e Ca+GA3 ($5,92 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), nos tratamentos controle e Ca apresentaram valores inferiores a $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Enquanto no período de armazenamento ocorreu uma degradação desse pigmento, sendo que no dia zero exibiam médias de $5,73$; $6,82$; $9,19$ e $7,48 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, no 15º dia $3,72$; $4,13$; $5,46$ e $5,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Controle, Ca, GA3 e Ca+GA3, respectivamente). Esta degradação da clorofila é concernente ao processo de amadurecimento e o início da senescência dos frutos.

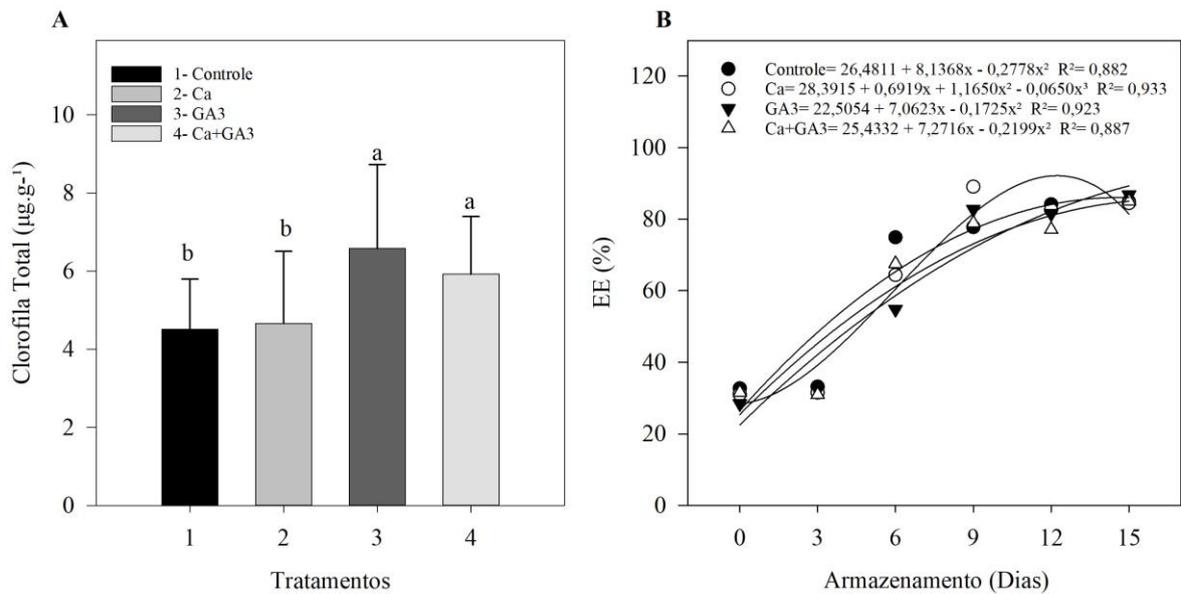


Figura 11. (A) Clorofila total, (B) Extravasamento de eletrólitos em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR). Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$).

Para a variável extravasamento de eletrólitos sua porcentagem aumentou gradualmente durante o armazenamento conforme a interação entre os fatores avaliados (Fig. 11B). No 12º dia de armazenamento, observou-se menor percentual de dano à membrana no tratamento Ca+GA3 (77,04%), enquanto nos tratamentos controle, Ca e GA3 observou-se maior percentual no mesmo período (84,15%, 82,62% e 81,58, respectivamente), ou seja, mais de 5% de diferença. No final do armazenamento todos os tratamentos apresentaram valores acima de 80% desse dano na membrana.

3.9 Atividade antioxidante DPPH, polifenóis extraíveis

Em relação ao DPPH, observou-se que os valores foram mais altos no início do armazenamento, com valores médios de 73,25% e 78,08% para os dias 0 e 3, respectivamente (Figura 12A), após 9 dias houve um decréscimo para todos os tratamentos, no qual, ao final do armazenamento obtiveram valores médios de 28,79; 35,13; 35,35 e 37,78% para os tratamentos controle; Ca; GA3 e Ca+GA3, respectivamente.

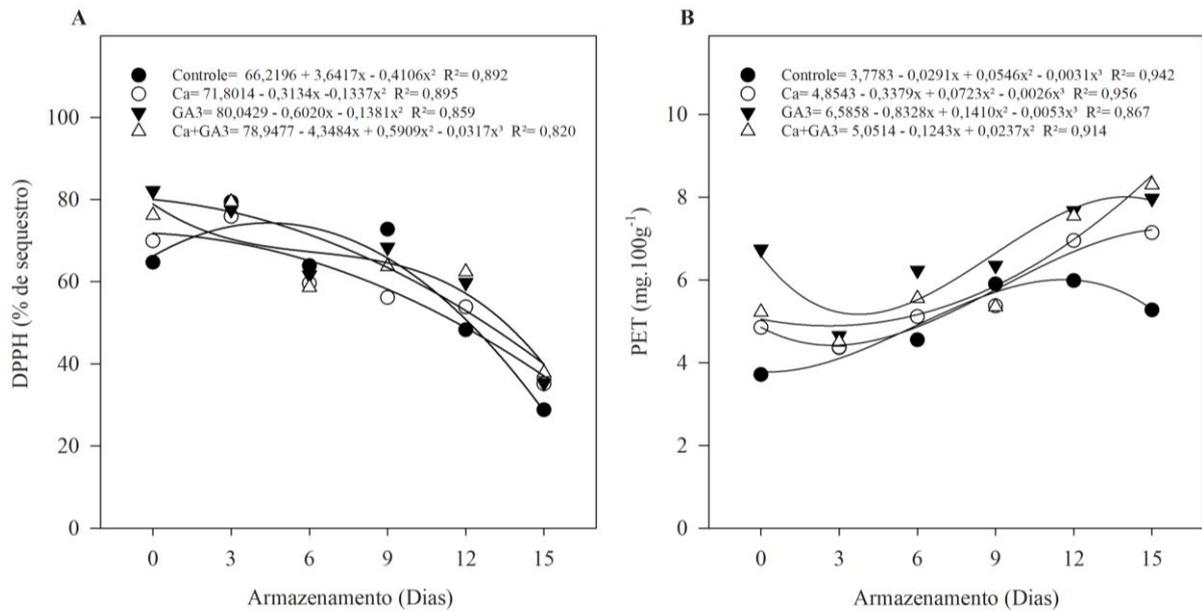


Figura 12. (A) Atividade Antioxidante DPPH, (B) Polifenóis Extraíveis Totais (PET) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e 85 ± 5 % UR).

Os polifenóis extraíveis totais (PET) apresentaram um incremento de aproximadamente 2 mg.100g⁻¹ para todos os tratamentos durante o armazenamento (Figura 12B), no qual verificou que ao longo do armazenamento, o controle obteve uma média menor, com um valor de 4,96 mg.100g⁻¹, enquanto que, os tratamentos com Ca, GA3 e Ca+GA3 obtiveram médias de 5,63; 6,60 e 6,07 mg.100g⁻¹, respectivamente.

3.10 Atividade enzimática da Peroxidase (POD) e Polifenoloxidase (PPO)

A figura 12 A e B mostrou uma interação significativa com ($p < 0,001$) para a POD e PPO entre os fatores. A atividade da enzima POD houve uma oscilação ao longo do tempo de armazenamento (figura 13A) em todos os tratamentos. A PPO verificou-se que os tratamentos controle, Ca e GA3 apresentaram um incremento da atividade até o 9° dia de armazenamento, e depois ocorreu um decréscimo gradativo até o fim do armazenamento, já em relação ao tratamento com Ca+GA3 observou-se que ocorreu um menor incremento quando comparado com os demais tratamentos e esse incremento permaneceu até o 12° dia de armazenamento (Figura 13B).

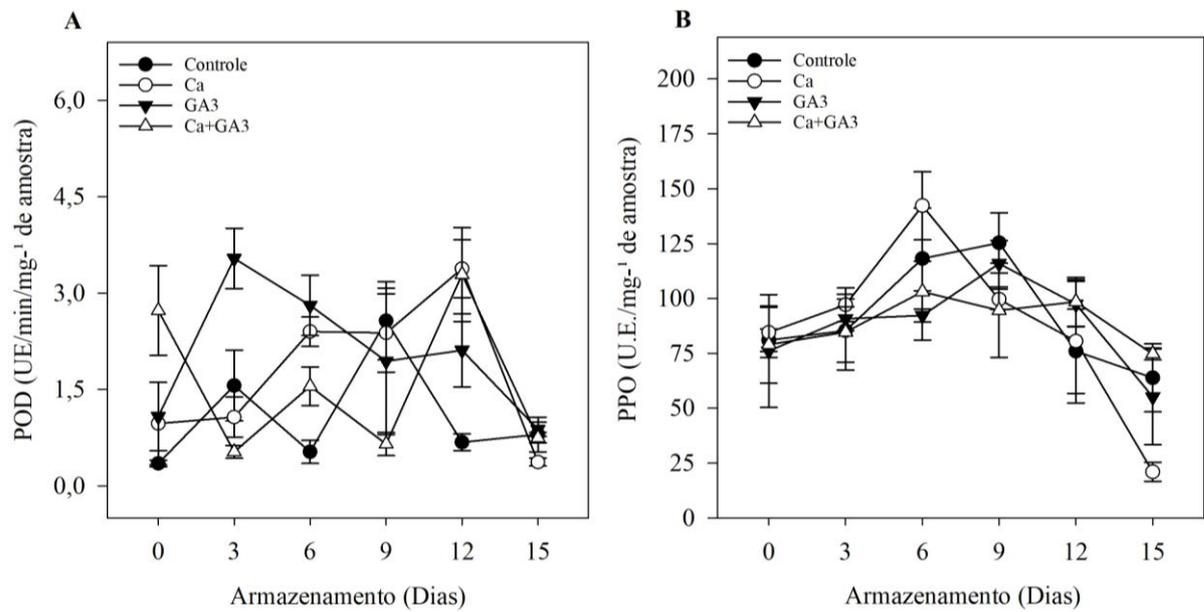


Figura 13. (A) Peroxidase (POD), (B) Polifenoloxidase (PPO) em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e 85 ± 5% UR).

3.11 Minerais: Cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K)

Observou-se na figura 14A na quantificação de cálcio mostrou interação significativa ($p < 0,001$) sendo evidencia que o tratamento Ca+GA3 durante o período de armazenamento exibiu uma elevação no teor cálcio de 0,045 g/kg de polpa no 15° dia, os demais tratamentos no mesmo tempo de armazenamento apresentaram valores de 0,038; 0,036 e 0,044 g/kg de polpa (controle, Ca e GA3, respectivamente).

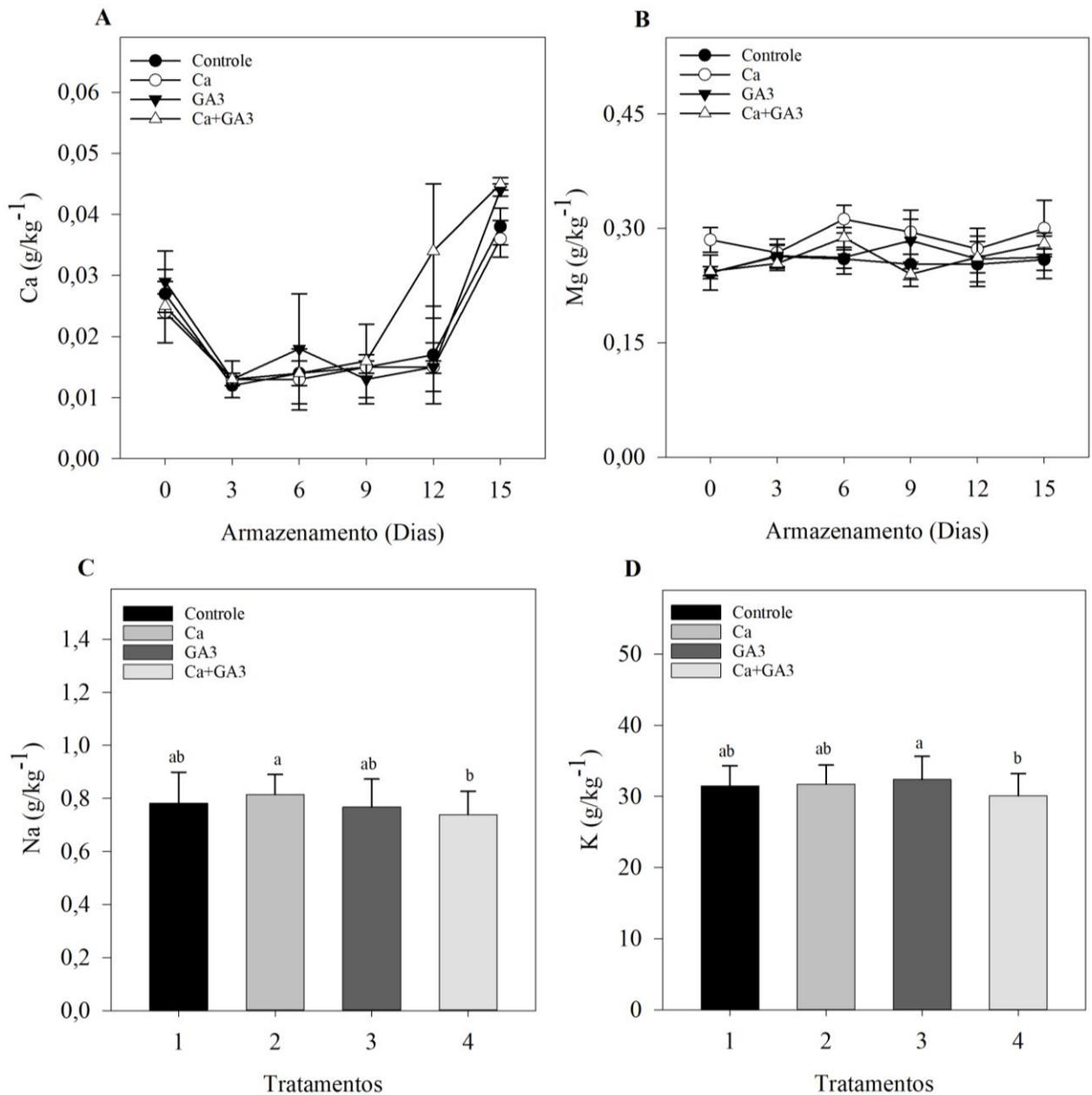


Figura 14. (A) Cálcio - Ca, (B) Magnésio - Mg, (C) Sódio - Na, (D) Potássio - K em atemoia 'Gefner' tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e $85 \pm 5\%$ UR). Letras diferentes indicam diferença significativa (teste de Tukey, $P < 0,05$).

Na figura 13B e C é representada pelos minerais magnésio e sódio que exibiram maiores valores no tratamento com Ca (0,82 g/kg de Na e 0,29 g/kg de Mg). Os frutos apresentaram teor de K superiores a 30 g/kg de polpa em todos os tratamentos (Figura 13D).

4 DISCUSSÃO

As características físicas são os primeiros parâmetros avaliados pelos consumidores na qualidade de um produto. A aparência dos frutos e a cor desempenha um papel importante na avaliação da maturação e qualidade (Farcuh *et al.*, 2020). Durante o armazenamento, houve

uma visível mudança no pericarpo da atemoia, resultando no escurecimento dos frutos (Figura 2). Tendo como consequência um decréscimo significativo na aparência, perda de massa, firmeza, coloração do fruto e polpa em todos os tratamentos (Figuras 2 - 7). Os frutos tratados com GA3 exibiram deformações nos carpelos. Corroborando com o presente trabalho, Pereira *et al.* (2014) usando GA3 na frutificação e qualidade de atemoia ‘Gefner’ apresentaram 27% de frutos deformados.

O processo de amadurecimento dos frutos de atemoia é decorrente de mudanças fisiológicas que influencia diretamente na aparência, firmeza, sabor e aroma, como é evidenciado no presente trabalho. Confirmando estas características citadas, Ren *et al.* (2020) descreve que o amaciamento da fruta é outro fator que contribui para a vida de prateleira, capacidade de transporte e armazenamento. Extensos estudos foram realizados sobre a maciez de várias frutas, e a redução da firmeza representa uma das características mais evidentes como observado no presente trabalho.

Na figura 3 mostra o distúrbio fisiológico característico das atemoias que são as rachaduras durante o armazenamento, onde apresentou redução quando foram tratados com Ca e Ca+GA3, que pode estar relacionado com os maiores valores de Ca observado no tratamento com Ca+GA3 (figura 14A). Já o uso individual do GA3 não apresentou dados positivos a esse distúrbio. Resultados semelhantes foram encontrados por Hosein-Beigi *et al.* (2019) trabalhando com romã observou que o uso de Ca e GA3 mostraram eficácia na redução de rachaduras nos frutos. Bakeer (2016) descreve que o efeito positivo do Ca na redução das rachaduras dos frutos é atribuído ao importante papel desse elemento na parede celular e sua influência nas propriedades mecânicas dos tecidos vegetais, também interage com o ácido péctico e contribui para a agregação da parede celular, aliviando a falha da divisão.

As rachaduras são decorrentes de alterações na estrutura da parede celular, devido a degradação de pectina e hidrólise de amido que resulta na perda de firmeza do fruto (Dautt-Castro *et al.*, 2015). Também este distúrbio é influenciado pela absorção de água da fruta e propriedades intrínsecas, como tamanho, dureza, estrutura do tecido, resistência e pressão osmótica da casca e da polpa (Khadivi-Khub, 2015).

A hidrólise de amido está intimamente relacionada com o processo de amadurecimento e envelhecimento da fruta e pode fornecer carbono para a produção de açúcar e desenvolvimento do sabor (Li *et al.*, 2021). O aumento do açúcar total nas frutas está diretamente relacionado a degradação em açúcares solúveis. Esses açúcares afetam a quantidade de sólidos solúveis na polpa, que consiste principalmente de açúcares, além de

ácidos orgânicos e vitaminas (De Oliveira *et al.*, 2021). No presente estudo confirma que o processo de degradação de amido durante o amadurecimento aumentou de forma crescente as variáveis de acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares totais e redução da firmeza como mostra as figuras 8A, 9B, 10B e 5, respectivamente.

A firmeza tem sido destacada em diversos estudos como um dos parâmetros básicos da avaliação pós-colheita de frutas, pois afeta o sabor e a durabilidade da fruta (Moura *et al.*, 2020). Da Cruz *et al.* (2013) avaliando características físicas e químicas em frutos de atemoia ‘Gefner’ encontrou teores de vitamina C em frações do fruto onde a casca apresentou valores de 105,41 mg.100g⁻¹ e na polpa apresentou 60,97 mg.100g⁻¹. No presente trabalho foram encontrados valores superiores na polpa (Figura 9A) em todos os tratamentos (Controle, Ca, GA3 e Ca+GA3). Korkmaz *et al.* (2016) avaliando aplicações foliares de GA3 e nitrato de cálcio nas fazes de floração da romanzeira obtiveram resultados positivos na qualidade dos frutos, como redução de rachaduras e um aumento na concentração de vitamina C.

A figura 14 é representada pela quantificação de minerais (Ca, Mg, K e Na), a qual mostra ser uma boa fonte de minerais para o consumo humano. Santos *et al.* (2016) avaliando a composição mineral e propriedades nutricionais em duas cultivares de atemoia (‘Gefner’ e ‘African Pride’), ambas apresentaram quantidades excelentes de K, Mg, vitamina C e compostos fenólicos representando uma fruta com um potencial significativo de antioxidantes.

Durante o armazenamento os frutos exibiram degradação da clorofila e uma elevação no extravasamento de eletrólitos (Figura 11A e B), um dos fatores que promoveram estas características citadas é o processo natural de amadurecimento e senescência dos frutos. O extravasamento de eletrólitos também indica alterações na permeabilidade das membranas celulares de tecidos de frutas que sofreram estresse dependendo do ambiente de exposição (Rey *et al.*, 2020). Em relação a isso, destacam-se respostas primárias ao estresse, como o aumento da permeabilidade da membrana celular, bem como respostas secundárias, incluindo liberação de eletrólitos, energia metabólica reduzida (respiração) e danos oxidativos causados por espécies reativas de oxigênio formadas (Balaguera-López; Ortega; Consuegra, 2019; Wang *et al.*, 2019).

Pesquisa realizada em quiabo utilizando o GA apresentaram uma cor verde brilhante por mais tempo e apresentaram uma vida útil prolongada devido à redução da degradação da clorofila durante o armazenamento. Esses resultados indicam que o sinal de GA desempenha um papel fundamental no processo de degradação da clorofila em quiabos após a colheita (Xiao *et al.*, 2022). Corroborante com o presente trabalho, na atemoia também foi observado

que os frutos tratados com GA3 e Ca+GA3 exibiram maior conteúdo de clorofila (Figura 11A) e menor degradação durante o armazenamento evidenciado na aparência dos frutos (Figura 2), sendo que no final do armazenamento mostram uma mudança de coloração de verde para marrom (processo de escurecimento).

Em pós-colheita de frutas, o escurecimento está associado ao momento que ocorre um aumento da EROs, promovendo a perda da permeabilidade da membrana celular levando ao vazamento do conteúdo celular, o que leva diretamente ao escurecimento da casca (Zhang *et al.*, 2021a). Normalmente, nas células vegetais, encontra-se um sistema antioxidante altamente eficaz responsável por neutralizar o acúmulo excessivo de EROS. Esse sistema é composto por mecanismos antioxidantes tanto enzimáticos quanto não enzimáticos. O sistema de antioxidantes não enzimático consiste na redução de substâncias biologicamente ativas presentes na célula, tais como polifenóis, vitaminas e glutatona reduzida, que têm a capacidade de eliminar diretamente as EROs através da redução dessas reações (Zhang *et al.*, 2021b).

O presente trabalho observou um incremento nas variáveis não enzimáticas, como polifenóis extraíveis totais (Figura 12B), na vitamina C (Figura 9A), no conteúdo de clorofila e um aumento da atividade antioxidante DPPH (Figura 12A), sendo que em ambas as variáveis os tratamentos que apresentam maiores valores foi o GA3 e Ca+GA3. No entanto, os fatores enzimáticos também foram evidenciados, a peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) que estão envolvidas no escurecimento dos frutos. A atividade da POD oscilou ao longo do período de armazenamento (Figura 13A), em todos os tratamentos. Gong *et al.* (2020) avaliando atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase em frutos de atemoia, observou que a POD apresentou uma oscilação durante o período de amadurecimento de atemoia.

A POD desempenha diversas funções bioquímicas em plantas, sendo seu papel principal atuar como catalisadora de reações de escurecimento devido ao seu potencial oxidativo em substratos orgânicos (De Lima *et al.*, 2023). Além disso, foi observado que o aumento da atividade da POD está associado à resposta do fruto a estresses, pois uma de suas principais funções é proteger as células contra reações oxidativas, especialmente a geração de EROs, como o peróxido de hidrogênio (Bhattacharjee, 2019).

O processo de escurecimento enzimático é uma reação de oxidação de compostos fenólicos, e essa reação é catalisada por enzima fenólicas como a PPO, que segue uma sequência de polimerização oxidativa de quinonas para formação de pigmentos marrons, levando o escurecimento (Zhang *et al.*, 2023). Na maioria dos casos, este processo enzimático

é promovido pela enzima polifenoloxidase, sendo considerada uma das reações oxidativas mais importantes em frutas, a atividade da PPO leva à perdas de qualidades sensoriais e nutricionais (Zainal *et al.*, 2019), como é evidência no trabalho que durante o armazenamento houve uma elevada atividade da PPO a partir do 6° dia de armazenamento e como resultado um aumento significativo no escurecimento dos frutos (Figura 13B).

A condição da superfície das frutas desempenha um papel essencial como um indicador direto do seu frescor, além de ser um fator determinante na decisão de compra pelos consumidores (He *et al.*, 2020; Hou *et al.*, 2023). Retardar o escurecimento e reduzir as rachaduras são indicadores de um retardo no processo de amadurecimento da atemoia, além de aumentar sua qualidade pós-colheita, o que tem como vantagens o prolongamento de sua vida útil e maior tempo de comercialização do produto. Como é representado o presente trabalho que Ca+GA3 mostrou efeito positivo na diminuição das rachaduras como também um melhora na qualidade durante o tempo de armazenamento.

5 CONCLUSÃO

Os frutos tratados com Ca e Ca+GA3 promoveram características positivas na redução das rachaduras. Sendo que Ca+GA3 além de reduzirem as rachaduras, aumentaram os conteúdos de substâncias antioxidantes não enzimáticas como compostos fenólicos, vitamina C e clorofila, que tiveram efeito no retardo da senescência, onde foi observado um menor extravasamento de eletrólitos. O armazenamento sob refrigeração ($15\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\%$ de UR) mantiveram os frutos aptos para o consumo até doze dias, independente do tratamento. De acordo como os nossos resultados ainda sendo positivos, é necessário conduzir mais pesquisas para aprimorar a qualidade e estender a vida útil das atemoias.

6 REFERÊNCIAS

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17. ed. Washington: AOAC, 2002. p.1115.

AZEVEDO, I. G.; OLIVEIRA, J. G., DA SILVA, M. G.; PEREIRA, T.; CORRÊA, S. F.; VARGAS, H.; FAÇANHA, A. R. P-type H⁺-ATPases activity, membrane integrity, and apoplastic pH during papaya fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 48, n. 2, p. 242-247, 2008.

BAKEER, S. M. Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees. *Scientia Horticulturae*, v. 209, p. 300-308, 2016.

- BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; ORTEGA, E. A. P.; CONSUEGRA, S. A. L. Effects of thermal treatments on chilling injury and shelf life time of Citrus reticulata Blanco. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.
- BARBOSA, M. C. F.; SOUZA, P. A.; COELHO, E. L.; SILVA, M. S.; SOUSA, D. V.; FREITAS, R. V. S.; FERREIRA, E. O. Avaliação do índice de rachadura em atemoia Gefner armazenada a temperatura ambiente. **Bragantia**, v. 4, p. 21-28, 2011.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. CEP, v. 52171, p. 900, 2011.
- BHATTACHARJEE, S. **Reactive oxygen species in plant biology**. New Delhi, India: Springer India, 2019, p. 107-125.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E. BERSET, C. The phenolic constituents of Prunus I. –The quantitative analysis of phenolic constituents. **Lebensm Wiss Technology**. Oxford, v. 28, p. 25-30, 1995.
- CAMPOS, A.D.; FERREIRA, A.G.; HAMPE, M.M.V.; ANTUNES, I.F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E.P.; OSÓRIO, V.A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão a antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 637-643, 2004.
- CHEN, J.; DUAN, Y.; HU, Y.; LI, W.; SUN, D.; HU, H.; XIE, J. Transcriptome analysis of atemoya pericarp elucidates the role of polysaccharide metabolism in fruit ripening and cracking after harvest. **BMC Plant Biology**, v. 19, p. 1-19, 2019.
- CORDEIRO, N., SOUSA, L.; FREITAS, N.; GOUVEIA, M. Changes in the mesocarp of Annona cherimola Mill. 'Madeira' during postharvest ripening. **Postharvest biology and technology**, v. 85, p. 179-184, 2013.
- DAUTT-CASTRO, M.; OCHOA-LEYVA, A.; CONTRERAS-VERGARA, C. A.; PACHECO-SANCHEZ, M. A.; CASAS-FLORES, S.; SANCHEZ-FLORES, A.; KUHN, D. N.; ISLAS-OSUNA, M. A. Mango (Mangifera indica L.) cv. Kent fruit mesocarp de novo transcriptome assembly identifies gene families important for ripening. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 62, 2015.
- DA CRUZ, L. S.; LIMA, R. Z.; DE ABREU, C. M. P.; CORREA, A. D.; PINTO, L. D. M. Physical and chemical characterization of fractions of fruit atemoya Gefner/Caracterização física e química das frações do fruto atemoia Gefner. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2280-2285, 2013.
- DE OLIVEIRA, Z. L.; DE SOUZA, P. A.; MOURA, C. F. H.; DA COSTA, F. B.; DA SILVA FREITAS, R. V.; BATISTA, E. M.; REGIS, A. A.; REGES, S. C. N. Armazenamento refrigerado de atemoia 'Gefner' em atmosfera modificada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e367101118095-e367101118095, 2021.
- DE LIMA, F. T. D.; MARTINS, L. P.; TOSCANO, B. L. M. D.; DE SOUSA COSTA, E.; DE SOUZA, W. F. C.; DE LUCENA, F. A.; SILVA FILHO, J. F.; DE SOUSA, S. Cold damage

affects the quality of noni fruits (*Morinda citrifolia* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 47, p. 102566, 2023.

FARCUH, M., COPEL, B.; LE-NAVENEC, G.; MARROQUIN, J.; CANTU, D. BRADFORD, K. J.; GUINARD, J. X.; DEYNZE, A. V. Sensory, physicochemical and volatile compound analysis of short and long shelf-life melon (*Cucumis melo* L.) genotypes at harvest and after postharvest storage. **Food Chemistry: X**, v. 8, p. 100107, 2020.

GUNDOGDU, M.; SELMA, B. E. R. K.; CANAN, I.; KOCOGLU, S. T.; CELIK, F.; AKGUL, T. A. S. Determination of effect of gibberellic acid treatments on the fruit quality of strawberry cv. Seascape. **Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences**, v. 27, n. 4, p. 608-612, 2017.

GONG, X.; WU, X.; QI, N.; LI, J.; ZHANG, H.; HUO, Y. Changes in the biochemical characteristics and volatile fingerprints of atemoya during postharvest ripening at room temperature. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 12, n. 4, p. 26-35, 2020.

HE, M.; WU, Y.; HONG, M.; YUN, Z.; LI, T.; JIANG, Y. α -Lipoic acid treatment alleviates postharvest pericarp browning of litchi fruit by regulating antioxidant ability and energy metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 180, p. 111629, 2021.

HOU, C. Y.; HAZEENA, S. H.; LI, P. X.; HSIEH, S. L.; HSIEH, C. W.; CHEN, M. H.; SHIH, M. K.; YU, M. C.; LIANG, Y. S. Postharvest quality and prolong storage time of atemoya (*Annona squamosa* x *A. cherimola* hybrids) fruit: coating with D-limonene nanoemulsion edible film. **International Journal of Food Properties**, v. 26, n. 1, p. 1098-1113, 2023.

HOSEIN-BEIGI, M.; ZAREI, A.; ROSTAMINIA, M.; ERFANI-MOGHADAM, J. Positive effects of foliar application of Ca, B and GA3 on the qualitative and quantitative traits of pomegranate (*Punica granatum* L.) cv. 'Malase-Torshe-Saveh'. **Scientia Horticulturae**, v. 254, p. 40-47, 2019.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1.ed. 2008,1020p.

KHADIVI-KHUB, A. Physiological and genetic factors influencing fruit cracking. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 1, p. 1718, 2015.

KHALIL, H. A.; ALY, H. SH. Cracking and fruit quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by pre-harvest sprays of some growth regulators and mineral nutrients. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 5, n. 2, p. 71-76, 2013.

KORKMAZ, N.; AŞKIN, M. A.; ERCİŞLİ, S.; OKATAN, V. Foliar application of calcium nitrate, boric acid and gibberellic acid affects yield and quality of pomegranate (*Punica granatum* L.). **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, 15(3), p. 105-112, 2016.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

- LICHTENTHALER, Hartmut K.; BUSCHMANN, Claus. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. **Current protocols in food analytical chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4. 2.1-F4. 2.6, 2001.
- LI, J.; LUO, M.; ZHOU, X.; ZHOU, Q.; WEI, B.; CHENG, S.; JI, S. Polyamine treatment ameliorates pericarp browning in cold-stored ‘Nanguo’ pears by protecting mitochondrial structure and function. **Postharvest Biology and Technology**, v. 178, p. 111553, 2021.
- LIMA, M. A. C.; ALVES, R. E.; BISCEGLI, C. I.; FILGUEIRAS, H. A. C.; COCOZZA, F. D. M. Conservação de melões Gália ‘Solar King’ tratados com 1-metilciclopropeno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 121 – 126, 2004.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, 426-428, 1959.
- MOURA, E. A. D.; CHAGAS, P. C.; OLIVEIRA, R. R.; TAVEIRA, D. L. L.; GRIGIO, M. L.; ARAÚJO, W. F. Determination of the harvest time of sugar apples (*Annona squamosa* L.) in function of carpel interspace. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2020.
- OZTURK, B.; BEKTAS, E.; AGLAR, E.; KARAKAYA, O.; GUN, S. Cracking and quality attributes of jujube fruits as affected by covering and pre-harvest Parka and GA3 treatments. **Scientia horticulturae**, v. 240, p. 65-71, 2018.
- PAREEK, S.; YAHIA, E. M.; PAREEK, O. P.; KAUSHIK, R. A. Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1741-1751, 2011.
- PEREIRA, M.C.T.; SANTOS, R.K.A.; NIETSCHKE, S. MIZOBUTSI, G.P. SANTOS, E.F. Doses de ácido giberélico na frutificação efetiva e qualidade de frutos de atemoieira ‘Gefner’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. especial, p. 184-191, 2014.
- REN, Y. Y.; SUN, P. P.; WANG, X. X.; ZHU, Z. Y. Degradation of cell wall polysaccharides and change of related enzyme activities with fruit softening in *Annona squamosa* during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111203, 2020.
- REY, F., ZACARÍAS, L., RODRIGO, M. J. Carotenoids, vitamin C, and antioxidant capacity in the peel of mandarin fruit in relation to the susceptibility to chilling injury during postharvest cold Storage. **Antioxidants**, v. 9, n. 12, p. 1296, 2020.
- RSTUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA, 2021. URL <http://www.rstudio.com/>. Accessed 10 Maio 2023.
- SANTOS, W. N. D.; SAUTHIER, M. C. S.; CAVALCANTE, D. D., BENEVIDES; C. M., DIAS, F. S.; SANTOS, D. C. Mineral composition, nutritional properties, total phenolics and flavonoids compounds of the atemoya fruit (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.) and evaluation using multivariate analysis techniques. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 1243-1252, 2016.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, p. 632.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 858.

WANG, Y.; JI, S.; DAI, H.; KONG, X.; HAO, J.; WANG, S.; ZHOU, X.; ZHAO, Y.; WEI, B.; CHENG, S.; ZHOU, Q. Changes in membrane lipid metabolism accompany pitting in blueberry during refrigeration and subsequent storage at room temperature. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 829, 2019.

XIAO, X.; YANG, M.; DONG, W.; ZHOU, C.; SHI, L.; CHEN, W.; CAO, S.; YANG, Z.; LI, S. Gibberellic acid inhibited chlorophyll degradation in post-harvest okras. **Postharvest Biology and Technology**, v. 190, p. 111951, 2022.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, London, v.57, p. 508-514, 1954.

ZAINAL, B.; DING, P.; ISMAIL, I. S.; SAARI, N. Physico-chemical and microstructural characteristics during postharvest storage of hydrocooled rockmelon (*Cucumis melo* L. reticulatus cv. Glamour). **Postharvest Biology and Technology**, v. 152, p. 89-99, 2019.

ZHANG, Y. X.; CHUN, I. J.; ZHANG, L. L.; HONG, S. B.; ZHENG, W. W.; XU, K. Efeito da aplicação de ácido giberélico nos atributos de crescimento das plantas, retorno da floração e qualidade dos frutos de mirtilo-olho-de-coelho. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13-18, 2016.

ZHANG, W.; JIANG, H.; ZHANG, Y.; CAO, J.; JIANG, W. Synergistic effects of 1-MCP and hot air treatments on delaying softening and promoting anthocyanin biosynthesis in nectarines. **Postharvest Biology and Technology**, v. 180, p. 111598, 2021a.

ZHANG, W.; JIANG, H.; CAO, J.; JIANG, W. Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 355-365, 2021b.

ZHANG, W.; PAN, Y.; JIANG, Y.; ZHANG, Z. Advances in control technologies and mechanisms to treat peel browning in postharvest fruit. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 311, p. 111798, 2023.

APÊNDICE A

Tabela 3. Resumo das análises de variância do Massa (g), Perda de Massa Fresca (PMF, %), Firmeza do fruto (N), Firmeza da Polpa (N), Coloração do Fruto (L*, °Hue e Cromo), Coloração da Polpa (L*, °Hue e Cromo), Sólidos Solúveis T (SS, °Brix), Acidez Titulável (AT meq.100⁻¹), pH, Vitamina C (mg.100 g⁻¹), Açúcares Totais (AT, %), Açúcares Redutores (AR, %), Amido (%), Atividade Antioxidante DPPH (% de sequestro) e Polifenóis (PET mg.100 g⁻¹) de atemoia em três estágio de maturação (100, 105 e 110 dias após a polinização) armazenados por 12 dias sob refrigeração (15 ± 2°C e 74 ± 2%)

Fonte de Variação	Quadrado Médio										
	GL	Massa	PMF	Firmeza do Fruto	Firmeza da Polpa	Coloração do fruto			Coloração da polpa		
						L*	°Hue	Croma	L*	°Hue	Croma
Estádio de Maturação (A)	2	148603***	1,13 ^{ns}	2040,5 ^{ns}	545**	1,56 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,614 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Armazenamento (B)	4	2013,5 ^{ns}	282,55***	19387,8***	12770,25***	15,90***	0,003 ^{ns}	8,16***	286,54***	0,003 ^{ns}	8,30***
A x B	8	3514,5 ^{ns}	1,753***	473,63 ^{ns}	450,5***	2,50 ^{ns}	0,0035 ^{ns}	0,62 ^{ns}	17,38 ^{ns}	0,0034 ^{ns}	0,625 ^{ns}
Erro	45	5554,4	0,421	66,044	81,244	4,516	0,0045	0,963	22,60	0,005	0,924
CV%		19,04	10,06	15,46	26,77	1,63	0,04	10,98	5,92	0,04	10,75
	GL	SS	AT	pH	Vitamina C	AT	AR	Amido	DPPH	PET	
Estádio de Maturação (A)	2	0,391**	0,379**	0,08 ^{ns}	129,0*	13,86*	0,103 ^{ns}	2,59**	1,0835 ^{ns}	528,5**	
Armazenamento (B)	4	22,346***	22,128***	10,514***	113,7*	530,90***	8,892***	195,53***	14,06***	8412,5***	
A x B	8	0,608***	0,6113***	0,2756***	127,43**	5,24 ^{ns}	0,0635 ^{ns}	1,77***	1,0381 ^{ns}	89,75 ^{ns}	
Erro	45	0,064	0,0652	0,0317	32,542	3,614	0,2583	0,405	1,8796	96,53	
CV%		7,62	7,68	3,17	14,1	20,51	19,07	11,79	1,63	16,96	

^{ns}; *; **; ***: não significativo; significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE B

Tabela 4. Resumo das análises de variância do Massa (g), Perda de Massa Fresca (PMF, %), Firmeza do fruto (N), Firmeza da Polpa (N), Clorofila total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Extravasamento de eletrólitos (EE, %), Coloração do Fruto (L^* , $^{\circ}\text{Hue}$ e Croma), Coloração da Polpa (L^* , $^{\circ}\text{Hue}$ e Croma), Sólidos Solúveis (SS, $^{\circ}\text{Brix}$), Acidez Titulável ($\underline{\text{AT}}$, $\text{meq}\cdot 100^{-1}$), pH, Vitamina C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$), Açúcares Totais (AT, %) e Amido (%) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração ($15 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR)

Fonte de Variação	Quadrado Médio						
	GL	Massa	PMF	Firmeza do Fruto	Firmeza da Polpa	Clorofila	EE
Tratamentos (A)	3	10427,33 ^{ns}	1,42 ^{ns}	187 ^{ns}	225,67 ^{**}	30,11 ^{***}	80,67 ^{ns}
Armazenamento (B)	5	7806,8 ^{ns}	169,21 ^{***}	35238 ^{***}	18486,6 ^{***}	36,19 ^{***}	12782,40 ^{***}
A x B	15	1954,07 ^{ns}	1,49 [*]	163,87 ^{ns}	88,47 [*]	1,50 ^{ns}	93,93 [*]
Erro	96	5120,21	0,80	159,14	43,86	1,45	43,32
CV%		20,79	21,2	28,7	22,88	22,44	10,47
	Coloração do fruto				Coloração da polpa		
	GL	L^*	$^{\circ}\text{Hue}$	Croma	L^*	$^{\circ}\text{Hue}$	Croma
Tratamentos (A)	3	85,9 ^{**}	0,002 ^{ns}	13,63 ^{ns}	30,13 ^{**}	0,006 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Armazenamento (B)	5	611,16 ^{***}	0,038 ^{***}	38,43 ^{***}	840,52 ^{***}	0,037 ^{***}	22,32 ^{***}
A x B	15	34,47 ^{**}	0,007 [*]	10,16 ^{ns}	14,81 ^{**}	0,006 ^{***}	0,66 ^{ns}
Erro	96	15,28	0,003	1,53	6,58	0,002	0,47
CV%		7,68	0,03	4,9	3,18	0,03	7,84
	GL	SS	AT	pH	Vitamina C	$\underline{\text{AT}}$	Amido
Tratamentos (A)	3	30,00 ^{**}	0,88 [*]	0,01 ^{ns}	369,73 ^{***}	3,7 ^{ns}	1,69 ^{ns}
Armazenamento (B)	5	1742,14 ^{***}	83,52 ^{***}	19,46 ^{***}	2583,14 ^{***}	1710 ^{***}	560,97 ^{***}
A x B	15	6,57 ^{ns}	0,53 [*]	0,019 ^{ns}	125,64 ^{**}	5,91 ^{**}	2,81 [*]
Erro	96	5,66	0,24	36,45	48,26	2,47	1,70
CV%		11,08	10,35	3,71	9,00	11,78	17,44

^{ns}, ^{*}, ^{**}, ^{***}: não significativo; significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F

Tabela 5. Resumo das análises de variância das Atividade Antioxidante DPPH (DPPH, % de sequestro), Polifenóis (PET, mg.100g⁻¹), enzimas peroxidase (POD, UE/min/g⁻¹ de amostra) e polifenoloxidase (PPO, EU/mg⁻¹ de amostra), Cálcio (Ca, g/kg de polpa), Magnésio (Mg, g/kg de polpa), sódio (Na, g/kg de polpa) e potássio (K, g/kg de polpa) em atemoia ‘Gefner’ tratados com Ca, GA3, Ca+GA3 e não tratados (controle) e armazenados por 15 dias sob refrigeração (15 ± 3 °C e 85 ± 5% UR)

Fonte de variação	Quadrado Médio				
	GL	DPPH	PET	POD	PPO
Tratamentos (A)	3	219,77**	14,47***	3,01 ^{ns}	101,67 ^{ns}
Armazenamento (B)	5	4793,80***	23,27***	3,92 ^{ns}	9259,2***
A x B	15	126,91**	1,85**	3,10***	1390,33***
Erro	93	44,79	0,75	0,22	238,48
CV%		10,92	14,85	29,39	17,33
	GL	Ca	Mg	Na	K
Tratamentos (A)	3	0,00013***	0,007***	0,030*	27,76*
Armazenamento (B)	5	0,0022***	0,002***	0,016 ^{ns}	30,35**
A x B	15	0,0001***	0,0008*	0,006 ^{ns}	12,39 ^{ns}
Erro	93	0,00002	0,0004	0,010	7,14
CV%		20,88	7,82	12,7	8,51

^{ns}, *, **, ***: não significativo; significativo a 5%, 1% e 0,1%, respectivamente, pelo teste F.

